



فاعلية أنظمة الإنذار المبكر في الحد من تأثير الكوارث الصناعية: دراسة ميدانية على
المدن الصناعية في المملكة العربية السعودية

إعداد الطالب/
عبدالله محمد الخليفة
252000304

إشراف/
د. الفیصل عبد الحمید محمد حسن
د.فايز جراد

العام الدراسي:
2026 – 1447

مستخلص الدراسة

هدفت هذه الدراسة إلى قياس فاعلية أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها (الجاهزية التقنية، سرعة الاستجابة، كفاءة الاتصال التحذيري) في الحد من تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية. واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، حيث صُممت استبانة مكونة من (24) فقرة وزُعت على عينة عشوائية طبقية بلغت (331) مفردة من العاملين في أقسام السلامة الصناعية وإدارة المخاطر والطوارئ في ست مدن صناعية رئيسية، وعولجت البيانات باستخدام برنامج (SPSS v.28). أظهرت النتائج أن المستوى العام لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر جاء مرتفعاً بمتوسط حسابي (3.76)، وتصدر بُعد الجاهزية التقنية الترتيب الوصفي بمتوسط (3.79)، بينما جاء بُعد كفاءة الاتصال التحذيري في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.73). وأكد تحليل الانحدار المتعدد وجود أثر ذي دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha \leq 0.05$) لأبعاد فاعلية أنظمة الإنذار المبكر مجتمعة في الحد من تأثير الكوارث الصناعية بمعامل تحديد ($R^2 = 0.734$)، وتبين أن بُعد سرعة الاستجابة هو الأكثر تأثيراً ($B = 0.389$) يليه الجاهزية التقنية ($B = 0.341$) ثم كفاءة الاتصال التحذيري ($B = 0.248$). كما كشفت الدراسة عن فجوات تطبيقية في التحديث الدوري للأنظمة وتدريبات المحاكاة ونظام التغذية الراجعة. وأوصت الدراسة بتكثيف تدريبات المحاكاة وتطوير أنظمة تغذية راجعة إلكترونية متعددة اللغات وتوظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالمخاطر الصناعية.

الكلمات المفتاحية: أنظمة الإنذار المبكر، الكوارث الصناعية، الجاهزية التقنية، سرعة الاستجابة، كفاءة الاتصال التحذيري، المدن الصناعية، المملكة العربية السعودية

Study Abstract

This study aimed to measure the effectiveness of early warning systems across their dimensions (technical readiness, response speed, warning communication efficiency) in reducing the impact of industrial disasters in industrial cities in the Kingdom of Saudi Arabia. The study adopted the descriptive-analytical approach, utilizing a questionnaire consisting of (24) items distributed to a stratified random sample of (331) respondents working in industrial safety, risk management, and emergency departments across six major industrial cities. Data were analyzed using SPSS v.28. The results revealed that the overall level of early warning systems effectiveness was high with a mean score of (3.76). The technical readiness dimension ranked first descriptively with a mean of (3.79), while the warning communication efficiency dimension ranked last with a mean of (3.73). Multiple regression analysis confirmed a statistically significant impact at ($\alpha \leq 0.05$) of the combined early warning systems dimensions on reducing industrial disaster impacts with a coefficient of determination ($R^2 = 0.734$). The response speed dimension emerged as the most influential ($B = 0.389$), followed by technical readiness ($B = 0.341$), then warning communication efficiency ($B = 0.248$). The study also identified practical gaps in periodic system upgrades, simulation drills, and feedback mechanisms. The study recommended intensifying simulation exercises, developing multilingual electronic feedback systems, and employing artificial intelligence technologies in industrial risk prediction.

Keywords: Early Warning Systems, Industrial Disasters, Technical Readiness, Response Speed, Warning Communication Efficiency, Industrial Cities, Kingdom of Saudi Arabia.

المقدمة

تُظهر الحوادث الصناعية عالمياً عبئاً متزايداً على الأرواح والاقتصاد والبنية التحتية، إذ سُجِّلَ 1054 حادثاً صناعياً بين 1995 و2021 مع سيادة الانفجارات وتبعات بشرية ومادية جسيمة، ما يبرز هشاشة المرافق الحرجة والحاجة لتطبيق أدوات تقييم المخاطر والوقاية بكفاءة أعلى، وتُعد حوادث كبرى مثل مرفأ بيروت وتيانجين وتكساس تذكيراً عاجلاً بضرورة تحسين الاستباقية في إدارة الأخطار الصناعية (Tin et al., 2023).

وتعد أنظمة الإنذار المبكر ركنٌ محوري في الحد من مخاطر الكوارث متى كانت متعددة الأخطار، متكاملة الحلقات من الرصد إلى الاستجابة، ومحورها الإنسان مع ضمان الإتاحة والشمول للفئات الهشة، وبنيت على تدفقات بيانات موثوقة بين المستويات الوطنية والإقليمية، ويبرز الدور التنسيق والمعياري لمنظمة الأرصاد الجوية العالمية في ترسيخ هذه المقاربة على الصعيد الدولي (السعدى، 2024).
أن فاعلية الإنذار لا تتحدد بالتقنية وحدها، بل بتكامل مصادر البيانات قبل التشخيص، وتوحيد النماذج، والتحديث اليومي، وبناء الثقة والقبول المجتمعي، مع ربط إلزامي بين الإشعار وإجراءات تدخل واضحة التوقيت، وتُبين مراجعات الصحة العامة تفوق النظم المركبة والإبلاغ اليومي، فيما تُظهر دراسات الفيضانات أهمية الدمج بين المعرفة المحلية والتقنيات الحديثة، ويكشف تحليل عمليات حفظ السلام أثر توقيت التفعيل على إطالة أو تقصير أمد الأحداث إذا جاء التدخل تفاعلياً لا استباقياً (Meckawy et al., 2022).

وتستهدف هذه الدراسة قياس فاعلية أنظمة الإنذار المبكر في الحد من تأثير الكوارث الصناعية ميدانياً داخل المدن الصناعية في المملكة العربية السعودية، عبر إطارٍ يستند إلى أنماط المخاطر وأنواع الحوادث وأثرها على جودة الحياة والبنية التحتية، وبما يسد فجوة القياس التطبيقي في السياق الصناعي العربي ويحول مبادئ الإنذار المتكامل إلى مؤشرات أداء قابلة للتنفيذ.

مشكلة الدراسة

على الرغم من الارتفاع العالمي الملحوظ في تكرار الحوادث الصناعية وشدة آثارها البشرية والمادية والبنائية كما تكشفه الأدلة الوبائية التي تشير إلى هيمنة الانفجارات وامتداد تداعياتها الواسعة إلا أن قياس فاعلية أنظمة الإنذار المبكر داخل البيئات الصناعية في المملكة العربية السعودية لا يزال محدوداً وغير قائم على مؤشرات تشغيلية وزمنية دقيقة تربط بين مستوى الجاهزية ونتائج الخسائر الفعلية. وتؤكد الأدبيات أن الوقاية والتنبؤ والاستجابة المبكرة أصبحت ضرورة ملحة، خاصة في ضوء حوادث كبرى مثل انفجار مرفأ بيروت التي أبرزت الحاجة للتكامل بين تقييم المخاطر والإنذار الفعال (Tin et al., 2023)؛ (Foreword, 2024).

كما تتفق الدراسات على أن أنظمة الإنذار الفاعلة تتطلب منظومات متعددة الأخطار، شمولية ومرتكزة على الإنسان، مع سياسات تضمن الإتاحة وتدفق المعلومات والحوكمة الرشيدة، بينما تُضعف فجوات البيانات والتمويل ومحدودية المشاركة المؤسسية قدرة الأنظمة على الحد من الخسائر (Executive Summary, 2023؛ السعدى، 2024).

ورغم ما تظهره الأدبيات من أن تحسين الأنظمة القائمة ودمجها بنماذج موحدة للإبلاغ والاكتشاف المبكر أكثر فاعلية من بناء نظم جديدة من الصفر، إلا أن الحلقة الأضعف عالمياً تظل في ضعف الربط بين الإشعار واتخاذ التدخلات المحددة زمنياً (Meckawy et al., 2022).

وفي ضوء ذلك، تتجلى المشكلة البحثية في غياب تقييم ميداني صارم وموثوق يحدد ما إذا كانت أنظمة الإنذار المبكر المطبقة في المدن الصناعية السعودية تسهم فعلياً وفق مؤشرات أداء قابلة للقياس في خفض الخسائر البشرية والمادية والبيئية مقارنة بخط الأساس، رغم ما تشير إليه الدراسات من تقلل المخاطر الصناعية عالمياً وتأثيراتها الممتدة .

أهمية الدراسة:

تعتمد أهمية هذه الدراسة على إسهاماتها النظرية والتطبيقية فيما يلي:

أولاً: الأهمية العلمية:

- سدّ فجوة معرفية عربية وخليجية عبر تقييم ميداني منظم لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر للكوارث الصناعية في المدن الصناعية السعودية.
- بناء إطار مفاهيمي تشغيلي يربط بين أبعاد النظام التقنية والتنظيمية والبشرية والتخطيطية وتأثيرها على الخسائر البشرية والمادية والبيئية.
- تطوير مؤشرات أداء رئيسية قابلة للقياس لفاعلية الإنذار المبكر: زمن الاكتشاف، زمن الإشعار، زمن بدء الاستجابة، معدل الإنذارات الكاذبة، نسبة الإشعارات التي تُترجم لإجراءات.
- تقديم منهجية قياس سببي تجمع بين تصميمات قبل/بعد، وفروق في الفروق بين مواقع مختلفة النضج، وتحليل بقاء لمدد الحوادث والتوقف التشغيلي.
- إسهام في معيرة أدوات القياس عبر اختبار الصدق والثبات لاستبيانات الجاهزية والاستجابة، وإتاحة حزمة قياس قابلة لإعادة الاستخدام في بيئات صناعية مشابهة.
- إنتاج قاعدة مقارنة بين أنواع الصناعات والمخاطر والأنماط الحضرية داخل المملكة بما يسمح بتوليد فرضيات جديدة وتعميمات حذرة.
- ربط أدبيات الإنذار المبكر متعددة الأخطار بأطر إدارة الجودة وتحسين العمليات في السياق الصناعي، بما يثري الحوار بين حقول إدارة الكوارث والهندسة الصناعية.

ثانياً: الأهمية العملية:

- تزويد صانعي القرار بـ لوحة مؤشرات تنفيذية وحدود إنذار وعقود خدمة زمنية لاتخاذ قرارات سريعة وقابلة للمساءلة.
- تقليل الخسائر البشرية والمادية وزمن التوقف عبر تحسين التوقيت والامتثال لبروتوكولات الإخلاء والاستجابة والتواصل التحذيري.
- دعم التوافق التنظيمي مع المتطلبات الوطنية وتكامل الأنظمة مع الدفاع المدني والجهات التنظيمية والبنى الصناعية الرقمية. (SCADA/IoT)
- تمكين ترتيب أولويات الاستثمار في الحساسات والبنية الاتصالية والتدريب وفق عائد تقليل المخاطر وتحليل الكلفة-المنفعة.

- رفع جاهزية الموارد البشرية عبر تحديد فجوات التدريب وتواتر التمارين ومحاكاة السيناريوهات عالية الخطورة.
- تعزيز استمرارية الأعمال وخفض أقساط التأمين عبر توثيق الأداء وتحسين خطط التعافي وإدارة المخاطر التشغيلية.
- إرشاد التخطيط المكاني الصناعي وتحديد مناطق عازلة وتخزين آمن للمواد الخطرة بناءً على خرائط التعرض والهشاشة.
- تحسين حوكمة البيانات والأمن السيبراني لمنظومة الإنذار، بما يقلل اختناقات التدفق المعلوماتي ومخاطر الاختراق.

أهداف الدراسة:

- قياس فاعلية أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها (الجاهزية التقنية، سرعة الاستجابة، كفاءة الاتصال التحذيري) في الحد من تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية. وتتفرع من هذا الهدف العام عدة أهداف فرعية، وهي:
- تقدير مستوى الجاهزية التقنية لأنظمة الإنذار المبكر في المدن الصناعية.
 - قياس سرعة الاكتشاف والإشعار وبدء الاستجابة مقارنة بخطط أساس تشغيلية.
 - تقييم كفاءة قنوات الاتصال التحذيري ووصول الرسائل لمستحقيها.

تساؤلات الدراسة

- السؤال الدراسة الرئيسي: إلى أي مدى تُسهم فاعلية أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها الأربع في خفض تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية؟ وتتفرع منه عدة أسئلة فرعية:
- ما مستوى الجاهزية التقنية الراهن لأنظمة الإنذار المبكر؟
 - ما زمن الاكتشاف والإشعار وبدء الاستجابة، وهل يصل إلى الحدود المستهدفة؟
 - ما كفاءة الاتصال التحذيري من حيث التغطية والموثوقية وقابلية الفهم؟

حدود الدراسة:

- حدود موضوعية: تقتصر هذه الدراسة على قياس فاعلية أنظمة الإنذار المبكر في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية، وذلك من خلال التركيز على ثلاثة أبعاد رئيسية هي: الجاهزية التقنية، سرعة الاستجابة، وكفاءة الاتصال التحذيري، ودورها في الحد من تأثير الكوارث الصناعية.
- حدود مكانية: تتمحور الدراسة حول مجموعة من المدن الصناعية في المملكة العربية السعودية.
- حدود زمنية: العام الأكاديمي (2026).
- حدود بشرية: يقتصر مجتمع الدراسة على العاملين والمسؤولين في إدارات الأمن الصناعي والطوارئ وإدارة المخاطر داخل المنشآت الصناعية القائمة في تلك المدن.

الإطار النظري

المبحث الأول: أنظمة الإنذار المبكر (المتغير المستقل)

مفهوم أنظمة الإنذار المبكر

يُعدّ مفهوم أنظمة الإنذار المبكر من المفاهيم التي تطورت تطوراً جوهرياً عبر العقود الماضية، إذ انتقل من إطاره العسكري والأمني الضيق الذي نشأ فيه خلال فترة الحرب الباردة، إلى إطار أوسع يشمل مجالات إدارة الكوارث الطبيعية والصناعية وإدارة الأزمات الاقتصادية والصحية والبيئية.

وقد أسهم هذا التطور في تعدد التعريفات التي طرحها الباحثون والمنظمات الدولية لهذا المفهوم، وهو تعدد يعكس في جوهره تنوع الزوايا التي نُظر من خلالها إلى هذه الأنظمة وتباين السياقات التطبيقية التي وُظفت فيها.

فقد عرّف مكتب الأمم المتحدة للحد من مخاطر الكوارث نظام الإنذار المبكر بأنه "منظومة متكاملة من أنشطة رصد الأخطار والتنبؤ بها وتقييم مخاطر الكوارث والاتصال والتأهب، تمكّن الأفراد والمجتمعات والحكومات والمؤسسات من اتخاذ إجراءات في الوقت المناسب للحد من مخاطر الكوارث قبل وقوع الأحداث الخطرة". (UNDRR, 2022) "ويتميز هذا التعريف بشموليته، إذ لا يختزل النظام في بعده التقني المتمثل في أجهزة الرصد وتقنيات التنبؤ فحسب، بل يمتد ليشمل أبعاداً تنظيمية واجتماعية وتواصلية تجعل منه منظومة ذات طابع اجتماعي-تقني مركب.

و أشارت قواسمية (2021) إلى أن نظام الإنذار المبكر يمثل مجموعة من الآليات والأدوات المنهجية التي تعمل على رصد المؤشرات البيئية والتنظيمية وتحليلها بصورة مستمرة بهدف التنبؤ بالأزمات المحتملة قبل تبلورها، مما يتيح للجهات المعنية اتخاذ تدابير استباقية تحول دون تفاقم الأوضاع.

أما موساوي وصالح (2020) فقد تناولتا المفهوم من منظور اقتصادي وإداري، حيث عرّفتا نظم الإنذار المبكر بأنها مجموعة من المؤشرات والمقاييس الكمية والنوعية التي تُرصد بشكل دوري ومنظم لاكتشاف الانحرافات والاختلالات في بيئة المنظمة الداخلية والخارجية، بحيث تعمل كإشارات تحذيرية تنبّه متخذي القرار إلى احتمالية حدوث أزمات قبل أن تبلغ مرحلة يصعب فيها السيطرة عليها.

ومن زاوية مغايرة، تناول خلوفي وشريط (2021) مفهوم الإنذار المبكر في سياق المخاطر الصحية والوبائية، حيث عرّفاه بأنه آلية مؤسسية منظمة تجمع بين قدرات الرصد الوبائي والتحليل المخبري ونظم المعلومات الجغرافية وشبكات الاتصال، وتعمل وفق بروتوكولات محددة مسبقاً لإطلاق إنذارات متدرجة المستويات حين تتجاوز المؤشرات الصحية عتبات معينة .

وقد عرّف السعدي (2024) نظام الإنذار المبكر في إطار عمل المنظمات الدولية المتخصصة بأنه منظومة عمل تتضمن أربعة عناصر مترابطة هي: المعرفة بالمخاطر، وخدمات الرصد والتنبؤ، ونشر المعلومات والاتصال، والقدرة على الاستجابة، بحيث تعمل هذه العناصر بشكل تكاملي لتوفير الإنذارات اللازمة للمجتمعات والمؤسسات المعرضة للأخطار.

وعلى صعيد البحث في الكوارث الصناعية تحديداً، أشار Yan et al. (2024) إلى أن نظام الإنذار المبكر في المنشآت الصناعية يُعرّف بأنه منظومة تحليلية متقدمة تجمع بين أساليب التحليل الكمي والنمذجة الاحتمالية لتحديد العلاقات السببية بين عوامل الخطر المتعددة في بيئة العمل الصناعية والتنبؤ باحتمالية وقوع الحوادث وتصنيف مستوى الخطر وفقاً لمعايير محددة.

كما عرّف Wei et al. (2023) نظام الإنذار المبكر في المجمعات الصناعية الكيميائية بأنه بنية تقنية ذكية تعتمد على شبكة من المستشعرات المتصلة بإنترنت الأشياء والمنصات السحابية لرصد المتغيرات البيئية والتشغيلية في الوقت الحقيقي حول مصادر الخطر الرئيسية كخزانات المواد الخطرة، وإطلاق تنبيهات آلية حين تتجاوز القراءات الحدود الآمنة المحددة مسبقاً.

ومن منظور أكثر شمولية، أوضح (Pescaroli et al. (2025 أن أنظمة الإنذار المبكر ينبغي أن تُفهم بوصفها أنظمة اجتماعية-تقنية لا تقتصر على الجوانب التكنولوجية، بل تتضمن تفاعلات معقدة بين المكونات التقنية والعوامل الاجتماعية والتنظيمية والنفسية التي تحدد مدى فعالية النظام في تحقيق أهدافه.

المبحث الثاني: الحد من تأثير الكوارث الصناعية (المتغير التابع)

مفهوم الحد من تأثير الكوارث الصناعية

يندرج مفهوم الحد من تأثير الكوارث الصناعية ضمن الإطار الأوسع لمفهوم الحد من مخاطر الكوارث الذي تبلور عبر عقود من الجهود الدولية والأكاديمية، غير أنه يتميز بخصوصيات ناجمة عن طبيعة الكوارث الصناعية ذاتها التي تختلف عن الكوارث الطبيعية في أنها ترتبط بالنشاط البشري والتقني وتخضع نظرياً لدرجة أعلى من إمكانية التحكم والمنع. وقد تعددت التعريفات التي تناولت هذا المفهوم بتعدد المنظورات والسياقات التي عولج من خلالها.

فقد عرّف مكتب الأمم المتحدة للحد من مخاطر الكوارث (UNDRR, 2022) الحد من مخاطر الكوارث بأنه مجموعة السياسات والاستراتيجيات والتدابير التي تهدف إلى منع مخاطر الكوارث الجديدة والحد من المخاطر القائمة وإدارة المخاطر المتبقية، بما يسهم في تعزيز الصمود المجتمعي والمؤسسي. ورغم عمومية هذا التعريف الذي يشمل جميع أنواع الكوارث، إلا أنه يوفر إطاراً مرجعياً صالحاً للتطبيق على الكوارث الصناعية، حيث يؤكد على ثلاثة مسارات متكاملة هي: المنع والتخفيف والإدارة، وهي مسارات تتطبق بوضوح على البيئة الصناعية التي تتضمن مخاطر يمكن منع بعضها كلياً وتخفيف بعضها الآخر وإدارة ما يتبقى منها.

وقد تناول ثانون وآخرون (2021) المفهوم من منظور القانون الدولي العام، حيث أشاروا إلى أن الحد من مخاطر الكوارث يمثل التزاماً قانونياً ومؤسسياً يقع على عاتق الدول والمنظمات بموجب الأطر الدولية ذات الصلة، وفي مقدمتها إطار سندي للحد من مخاطر الكوارث وإطار هيوغو الذي سبقه. ويعرّف في هذا السياق بأنه منظومة الإجراءات والسياسات التي تتبناها الدول لتقليل تعرض مجتمعاتها ومؤسساتها للأخطار وتعزيز قدرتها على مواجهة التداعيات المترتبة عليها والتعافي منها بسرعة وكفاءة. ويتميز هذا التعريف بإبرازه للبعد القانوني والإلزامي للمفهوم، مما يُخرجه من إطار الاختيار الطوعي إلى إطار المسؤولية المؤسسية.

أما من المنظور الصناعي التخصصي، فقد أوضح (Kamdina et al. (2021 أن الحد من تأثير الكوارث الصناعية يُقصد به مجموعة التدابير الهندسية والتنظيمية والإدارية التي تستهدف تقليل احتمالية وقوع الحوادث والأعطال الناجمة عن الأنشطة الصناعية، وتخفيف تداعياتها على استقرار المنشآت الصناعية وجودة حياة السكان والتنمية الاجتماعية-الاقتصادية في المناطق المحيطة بها. ويكشف هذا التعريف عن البعد المزدوج للمفهوم الذي يجمع بين المنع الاستباقي والتخفيف التفاعلي، وبين حماية المنشأة ذاتها وحماية المحيط الخارجي الذي تؤثر فيه.

ومن الزاوية الصحية، أشار (Tin et al. (2023 إلى أن الحد من تأثير الكوارث الصناعية يتضمن بُعداً صحياً جوهرياً يتمثل في تقليل الإصابات والوفيات المرتبطة بالحوادث الصناعية من خلال منظومة متكاملة تبدأ من الوقاية وتمتد إلى الاستجابة الطبية السريعة والتعافي الصحي طويل المدى. وقد تناولت دراستهم

الجوانب الصحية للكوارث الصناعية عالمياً، وبيّنت تنوع أنماط التأثيرات الصحية التي تتراوح بين الإصابات الحادة الناجمة عن الانفجارات والحرائق والتأثيرات المزمنة الناجمة عن التعرض للمواد السامة. وفي سياق المخاطر البيئية المرتبطة بالكوارث الصناعية، أوضح أرزوقي وعلي (2022) أن الحد من تأثير الكوارث الصناعية يشمل التقليل من الآثار البيئية الناجمة عن التلوث الصناعي بمصادره المتعددة، سواء أكانت تسربات كيميائية أم انبعاثات غازية أم نفايات صناعية خطيرة. وقد تناولت دراستهما مشكلات التلوث البيئي من حيث مصادره الطبيعية والبشرية والصناعية، مؤكدين أن البعد البيئي يعدّ مكوناً أصيلاً في مفهوم الحد من تأثير الكوارث الصناعية لأن الأضرار البيئية قد تفوق في مداها الزمني والمكاني الأضرار المادية المباشرة.

كما تناول أحمد (2024) المفهوم من الزاوية الاقتصادية والمالية، حيث أشار إلى أن تأثير الكوارث والأزمات يمتد ليشمل الملاءة المالية للمنشآت الصناعية والتجارية وقدرتها على الوفاء بالتزاماتها، وهو ما يجعل الحد من هذا التأثير مسألة حيوية ليس فقط من منظور السلامة بل من منظور الاستدامة الاقتصادية واستمرارية الأعمال. فالكارثة الصناعية حين تقع لا تدمر الأصول المادية فحسب، بل تعطل سلاسل الإمداد وتوقف العمليات الإنتاجية وتفقد المنشأة قدرتها التنافسية وقد تؤدي في نهاية المطاف إلى إفلاسها. أما Rokhideh et al. (2025) فقد تناولوا المفهوم ضمن إطار سندي في سياق أوسع، حيث بينوا أن الحد من تأثير الكوارث لا يعدّ هدفاً منفصلاً بل يمثل نتيجة تراكمية لمنظومة متكاملة من التدخلات التي تشمل بناء المعرفة بالمخاطر وتعزيز الحوكمة والاستثمار في أنظمة الإنذار المبكر وتعزيز الجاهزية للاستجابة. وهذا المنظور التكامل يؤكد أن الحد من التأثير ليس إجراءً واحداً بل سيرورة مستمرة تتضمن مكونات وقائية واستباقية وتفاعلية وتعافوية.

الدراسات السابقة:

❖ دراسة (سليمان، 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية آلية الإنذار المبكر عن الصراعات والنزاعات المسلحة في القارة الإفريقية بأبعادها (البنية المؤسسية والتنظيمية، منظومة جمع وتحليل البيانات والمؤشرات، دقة التنبؤ وسرعة الاستجابة المبكرة، ومستوى التنسيق بين المستويات الوطنية والإقليمية والدولية) على تحقيق الأمن القومي والاستقرار السياسي في الدول الإفريقية، وذلك من خلال تطبيقها على عدد من الحالات الإفريقية مثل جنوب السودان وكوت ديفوار والنيجر ومالي، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي والمنهج المقارن مدعوماً بأسلوب دراسة الحالة لرصد أوجه النجاح والإخفاق في تفعيل آلية الإنذار المبكر لدى الاتحاد الإفريقي والمنظمات الإقليمية، وتحليل مدى ترجمة الإنذار إلى استجابة سياسية وأمنية فعالة. توصلت النتائج إلى أن فاعلية آلية الإنذار المبكر ترتبط بدرجة توافر الإرادة السياسية، وكفاءة الهياكل المؤسسية المشرفة على الإنذار والاستجابة، وجودة قواعد البيانات والمعلومات، ومستوى التنسيق بين الفاعلين الوطنيين والإقليميين، وأن الإخفاق غالباً ما يرتبط بتسييس الإنذار، وضعف الربط بين الإنذار ومتخذ القرار، وقصور آليات التدخل الوقائي المبكر.

واوصت الدراسة بالآتي :

1) تعزيز الإطار المؤسسي والقانوني لآلية الإنذار المبكر في القارة الإفريقية.

(2) تطوير منظومة المؤشرات المبكرة وبناء قواعد بيانات محدثة، ووضع آليات واضحة وملزمة لربط الإنذار بالاستجابة السريعة.

(3) تقوية الشراكة بين الاتحاد الإفريقي والدول الأعضاء والتجمعات الإقليمية .

(4) توسيع إشراك المجتمعات المحلية ومنظمات المجتمع المدني في عمليات الرصد المبكر للصراعات.

❖ دراسة (السعدى، 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية أنظمة الإنذار المبكر متعددة الأخطار بأبعادها (الإطار المؤسسي والقانوني، منظومة الرصد والتنبؤ، إدارة المعلومات والتواصل، وبناء القدرات والشراكات الدولية) على الحد من مخاطر الكوارث وتعزيز الأمن الإنساني الدولي في إطار النظام الدولي المعاصر، مع التركيز على تجربة منظمة الأرصاد الجوية العالمية في تطوير وتفعيل منظومات الإنذار المبكر من مخاطر الكوارث ، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي واستعراض نماذج تطبيقية لبرامج الإنذار المبكر في عدد من الدول.

وتوصلت إلى النتائج الآتية : أن اعتماد نظام الإنذار المبكر أصبح التزاماً دولياً وضرورة جوهرية لمواجهة الكوارث الطبيعية والبشرية، وأن فاعلية هذه الأنظمة ترتبط بوجود إطار مؤسسي واضح، ومنظومة رصد وتنبؤ متطورة، وتدفق منظم للمعلومات بين المستويات الوطنية والإقليمية والدولية، إضافة إلى دور محوري لمنظمة الأرصاد الجوية العالمية في قيادة الجهود الدولية للتنبؤ بالكوارث والحد من مخاطرها وبناء شراكات واسعة مع المنظمات والبرامج الأممية والفاعلين المحليين، مع استمرار وجود فجوات في قدرات بعض الدول النامية، وقصور في الربط بين مرحلة الإنذار ومرحلة الاستجابة الفعلية. واوصت الدراسة بالآتي: - تعزيز الإطار القانوني والمؤسسي لأنظمة الإنذار المبكر على الصعيدين الدولي والوطني، و توسيع تغطية منظومات الرصد والتنبؤ في الدول الأقل قدرة .

❖ دراسة (ارزوقي و على، 2022)

هدفت الدراسة إلى التعرف على التلوث البيئي في العراق بأبعاده (الطبيعية، والبشرية، والتكنولوجية) على حق الإنسان في بيئة سليمة في العراق، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي لوصف المشكلات البيئية التي تعاني منها البيئة العراقية وتحليل أسبابها الطبيعية والبشرية والتكنولوجية وما نجم عنها من آثار على الفرد والمجتمع.

توصلت النتائج إلى أن المشكلات البيئية في العراق تعود إلى تداخل عوامل التغير المناخي والتصحر والهزات الأرضية والسيول مع الزيادة السكانية وقلة وعي المواطنين والتجاوز على البيئة الطبيعية، فضلاً عن التوسع في الأنشطة الصناعية والزراعية والحروب المتعاقبة وسوء الإدارة البيئية، مما أدى إلى تفاقم ملوثات الهواء والماء والتربة وانعكاس ذلك سلباً على حق الإنسان في بيئة سليمة.

واوصت الدراسة بالآتي: ضرورة رفع الوعي البيئي لدى المواطنين بأهمية حماية البيئة، ووضع برامج فعالة للتنوعية البيئية، ومعالجة الملوثات بجميع أنواعها ولا سيما التجارية والصناعية والطبية والزراعية، وتعزيز كفاءة الأجهزة المعنية بالإدارة البيئية والتخطيط البيئي السليم .

❖ دراسة (Meckawy et al., 2022)

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية أنظمة الإنذار المبكر للأمراض المعدية بأبعادها (أنظمة الترصد المعتمدة على الشكاوى الأولية في أقسام الطوارئ، وأنظمة سجلات الصحة العامة المركزية، وأنظمة

الترصد الوبائي المعتمدة على الويب، وبيانات المبيعات الدوائية والنتائج المخبرية، والنظم المركبة متعددة مصادر البيانات) على الكشف المبكر عن الفاشيات ذات الإمكانيات الجائحة وتحسين الاستجابة لها في بيئات صحية مختلفة وبخاصة في الدول ذات الدخل المنخفض والمتوسط ، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي.

أظهرت النتائج أن أنظمة الإنذار المبكر يمكن أن تعمل بكفاءة كنظم ترصد مستقلة للفاشيات واسعة النطاق، وتبين أن الاعتماد على الشكاوى الرئيسة في أقسام الطوارئ يعد أداة فعالة للإنذار المبكر بشرط توحيد نماذج البيانات بين المستشفيات، وأن أنظمة الترصد القائمة على سجلات الصحة العامة المركزية تسهل تبادل المعلومات لكنها تظل رهينة دقة وسرعة بلاغ الأطباء، كما اتضح أن الأنظمة المعتمدة على الويب تميزت بسهولة الإبلاغ من المناطق النائية وسرعة نقل الإنذار، في حين لم تظهر بيانات المبيعات الدوائية والنتائج المخبرية فاعلية كافية إذا استخدمت منفردة. وبيّنت الدراسة أن تصميم أنظمة إنذار مبكر تجمع بين بيانات السجلات الصحية ومداخلات مقدمي الخدمة الصحية كان من أنجح النماذج، وأن الإبلاغ اليومي عن بيانات الترصد مثل أفضل أسلوب لتعزيز فاعلية الأنظمة، خاصة في سياق الفعاليات الجماعية الكبرى، وخلصت الدراسة إلى أن تحسين الأنظمة القائمة وتعزيزها في الدول ذات الدخل المنخفض والمتوسط كان أكثر جدوى من استحداث أنظمة ترصد سندرومية جديدة.

وانتهت الدراسة إلى عدد من التوصيات، من أهمها: التركيز على تطوير أنظمة إنذار مبكر تعتمد على بيانات ما قبل التشخيص مع توحيد نماذج جمع البيانات، وتعزيز تكامل مصادر البيانات المختلفة في نظام مركب واحد، وتحسين قدرات الإبلاغ اليومي وسرعة تبادل المعلومات بين المستويات المختلفة، وبناء قدرات الدول ذات الموارد المحدودة على تحسين الأنظمة القائمة بدلاً من استبدالها، مع التأكيد على أن تفوق نظم الترصد السندرومي في الاستباقية لا يعني بالضرورة كفايتها وحدها لاكتشاف الفاشيات دون دعم بنظم تشخيصية قوية وآليات استجابة فعالة.

❖ دراسة (Executive Summary, 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أنظمة الإنذار المبكر متعددة الأخطار بأبعادها) الأساس العلمي والتقني للنظام، والطبيعة الشمولية المتسلسلة من المصدر إلى المتلقي end-to-end ، والتركيز على الإنسان people-centred، وشمول الفئات الهشة وضمان سهولة الوصول إلى الإنذار (على الحد من مخاطر الكوارث وحماية الأرواح وسبل العيش في مختلف السياقات، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، وتوصلت النتائج إلى أن فاعلية أنظمة الإنذار المبكر لا تتحقق بمجرد توافر الأساس العلمي والتقني، بل تتطلب أن تكون الأنظمة متعددة الأخطار، متكاملة المراحل، قائمة على التواصل الموثوق وسهلة الوصول للجميع، مع مراعاة الاحتياجات والقدرات المختلفة خاصة لدى الفئات المهمشة والمعرضة للخطر، وأن تجاهل البعد الإنساني يقلل من الثقة بالنظام ويحد من قدرته على حماية الأرواح وسبل العيش، وانتهت الدراسة إلى عدد من التوصيات من أبرزها: تبني مقاربة تركز على الإنسان في تصميم وتشغيل أنظمة الإنذار المبكر، وتطوير سياسات تضمن شمولية الإتاحة والوصول للمعلومات الإنذارية، وتعزيز الثقة المجتمعية في تلك الأنظمة، ودمج أنظمة الإنذار المبكر متعددة الأخطار ضمن أطر وطنية شاملة للحد من مخاطر الكوارث.

❖ دراسة (Sugawara, 2019)

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية نظام الإنذار المبكر للنزاعات في عمليات حفظ السلام التابعة للأمم المتحدة بأبعاده (طبيعة أنشطة الإنذار المبكر الميدانية، وتوقيت استجابة البعثة للإنذارات والأحداث، وكثافة التدخل المرتبط بالإنذار) على مسار التصعيد ومدة المعارك في حالة بعثة الأمم المتحدة في جنوب السودان (UNMISS)، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي الكمي التحليلي.

وتوصلت النتائج إلى أن مدة المعارك تميل إلى أن تكون أطول عندما تستجيب بعثة حفظ السلام للمعارك أثناء وقوعها أو مباشرة بعد انتهائها، الأمر الذي يشير إلى أن استخدام نظام الإنذار المبكر في السياق المدروس غالباً ما يكون تفاعلياً لاحقاً للحدث أكثر منه استباقياً وقائياً قبل التصعيد، وبطرح تساؤلات حول توقيت التفعيل وكيفية توظيف المعلومات المبكرة في التدخل الوقائي، وانتهت الدراسة إلى عدد من التوصيات من أبرزها: ضرورة إعادة تصميم آليات عمل نظام الإنذار المبكر بما يعزز طابعه الاستباقي قبل اندلاع المعارك، وتحسين سرعة تحليل ونقل معلومات الإنذار إلى متخذي القرار الميدانيين، ووضع بروتوكولات أوضح لربط إشارات الإنذار المبكر بخيارات تدخل وقائية فعالة، بما يسهم في تقصير مدة المعارك والحد من احتمالات التصعيد في مسار النزاع.

❖ دراسة (Tin et al., 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على الكوارث الصناعية عالمياً بأبعادها (نوع الكارثة الصناعية، والتوزيع الجغرافي للقارة، وحجم الخسائر البشرية من وفيات وإصابات) على عبء المخاطر الصحية على العاملين والمجتمعات المحيطة وتحسين جاهزية النظم الصحية في التعامل مع هذه الكوارث في الفترة من 1995 إلى 2021، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي الوبائي التحليلي .

أظهرت النتائج تسجيل 1054 كارثة صناعية خلال مدة الدراسة، تركز معظمها في آسيا بنسبة 68.3%، تلتها إفريقيا وأوروبا والأمريكتان بـ proportions أقل، وتبين أن حوالي نصف هذه الكوارث كانت انفجارات، تلتها الانهيارات والحرائق، في حين شكلت التسربات الكيميائية والغازية والتسممات وانسكابات النفط والحوادث الإشعاعية نسبة أقل من الإجمالي. وأسفرت هذه الكوارث عن 29,708 حالة وفاة و57,605 إصابة، ما يؤكد بقاء الكوارث الصناعية مصدراً مهماً لمخاطر صحية جسيمة تطل العمال والمجتمعات المحيطة، ولها تبعات سياسية وبيئية وبنوية ، وانتهت الدراسة إلى عدد من التوصيات من أهمها: تعزيز برامج الوقاية والسلامة الصناعية، وتطوير التدريب المتخصص على الاستجابة الطارئة للكوارث الصناعية للعاملين والفرق الطبية، وتقوية جاهزية البنية التحتية الحيوية وحمايتها بوصفها أهدافاً محتملة للحوادث أو الأعمال العدائية، مع تحسين قدرات النظم الصحية وطب الكوارث على استيعاب الآثار الفورية وطويلة الأمد لمثل هذه الأحداث.

❖ دراسة (Foreword, 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على مخاطر الحوادث الصناعية الكبرى والانفجارات في منشآت تخزين المواد الخطرة بأبعادها (خصائص المواد الخطرة وكمياتها، وموقع المنشآت وقربها من التجمعات السكنية والبنى التحتية الحرجة، ومستوى تطبيق إجراءات السلامة وإدارة المخاطر، وتوافر أدوات تقييم المخاطر والإنذار المبكر وخطط الطوارئ) على سلامة الإنسان والبيئة واستمرارية المرافق الاقتصادية والخدمية في عدد من الحالات العالمية، مثل انفجار مرفأ بيروت 2020، وحوادث تولوز، وميهاليشني، وتكساس، وتيانجين، وباتا ، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي مع منهج دراسة الحالة المقارنة .

وتوصلت النتائج إلى أن الحوادث الصناعية الكبرى ما زالت تُحدث خسائر بشرية جسيمة (وفيات وإصابات وتشريد للسكان) وأضراراً واسعة بالبنى التحتية الحرجة والمنشآت الصحية والمرافق التجارية والسكنية، وأن عوامل الخطر الرئيسية تتمثل في سوء تخزين المواد عالية الخطورة مثل نترات الأمونيوم، وضعف تطبيق المعايير والتشريعات المنظمة، وقصور الرقابة، ووجود تلك المنشآت داخل أو بمحاذاة مناطق عمرانية كثيفة من دون تخطيط مكاني سليم للمخاطر. كما بينت الدراسة أن أدوات تقييم المخاطر والآليات المتاحة دولياً للوقاية من الحوادث الصناعية لا تُستثمر بالقدر الكافي في كثير من الدول، وانتهت الدراسة إلى عدد من التوصيات من أهمها: إلزام المنشآت الصناعية التي تتعامل مع مواد شديدة الخطورة بتطبيق أنظمة صارمة لتقييم وإدارة المخاطر، واعتماد تخطيط عمراني يراعي مخاطر الحوادث الصناعية، وتعزيز الأطر التشريعية والرقابية، وتطوير خطط طوارئ واستجابة متكاملة على المستوى الوطني والمحلي، مع رفع مستوى الوعي المؤسسي والمجتمعي بطبيعة تلك المخاطر وسبل الحد من آثارها.

منهجية الدراسة

منهج الدراسة

اعتمدت الدراسة الحالية على المنهج الوصفي التحليلي بوصفه الأنسب لدراسة الظواهر الإدارية والتنظيمية كما هي في واقعها دون تدخل تجريبي من الباحث، حيث يتيح هذا المنهج وصف متغيرات الدراسة وتحليل العلاقات الارتباطية والتأثيرية بينها بأساليب كمية دقيقة. ويتوافق اختيار هذا المنهج مع طبيعة المتغيرات المدروسة التي تتطلب جمع بيانات أولية من المبحوثين عبر أداة استبانة مقننة ثم معالجتها إحصائياً لاختبار الفرضيات، وهو ما أكدت عليه عدد من الدراسات المرجعية في مجال إدارة الأزمات والكوارث الصناعية (Kalogiannidis et al., 2025)؛ الموسوي والصالح، 2020. (كما أن الطابع الكمي للدراسة يسمح بقياس درجة فاعلية كل بُعد من أبعاد أنظمة الإنذار المبكر وتحديد مقدار تأثيره في المتغير التابع بصورة رقمية قابلة للمقارنة والتفسير.

مجتمع الدراسة وعينتها

مجتمع الدراسة

يتكون مجتمع الدراسة من جميع العاملين في أقسام السلامة الصناعية، وإدارة المخاطر، والصحة المهنية، وإدارة الطوارئ في المنشآت الصناعية العاملة ضمن المدن الصناعية الرئيسية التابعة للهيئة الملكية للجبيل وينبع وهيئة المدن الصناعية ومناطق التقنية (مدن) في المملكة العربية السعودية. وتشمل هذه المدن الصناعية: مدينة الجبيل الصناعية، مدينة ينبع الصناعية، مدينة رأس الخير الصناعية، إضافة إلى المدن الصناعية الكبرى في الرياض وجدة والدمام. ويُقدَّر إجمالي عدد مجتمع الدراسة بنحو 2,400 موظف وموظفة يعملون في المستويات الإشرافية والتنفيذية ذات الصلة المباشرة بمنظومات الإنذار المبكر وإدارة الكوارث الصناعية.

عينة الدراسة

نظراً لاتساع مجتمع الدراسة وتوزعه على مدن صناعية متعددة جغرافياً، اعتمد الباحث أسلوب العينة العشوائية الطبقية لضمان تمثيل متوازن لمختلف المدن الصناعية والأقسام الوظيفية. وتم تحديد حجم العينة باستخدام معادلة ستيفن ثومبسون (Steven Thompson) عند مستوى ثقة 95% وهامش خطأ 5%، وبلغ الحجم المحسوب 331 مفردة. وقد وُزعت 370 استبانة لتعويض الفاقد والمستبعد، واستُرد منها

348 استبانة، استُبعدت 17 استبانة لعدم اكتمال بياناتها أو وجود نمط إجابة عشوائي، ليصبح عدد الاستبانات الصالحة للتحليل الإحصائي 331 استبانة بمعدل استجابة فعلي بلغ 89.5% من إجمالي الموزع، وهو معدل مقبول إحصائياً ويعزز الثقة في تمثيلية العينة.

أداة الدراسة (الاستبانة)

استُخدمت الاستبانة بوصفها الأداة الرئيسية لجمع البيانات الأولية من مفردات العينة، نظراً لملاءمتها للمنهج الوصفي التحليلي ولقدرتها على جمع بيانات كمية من عدد كبير من المبحوثين في فترة زمنية محددة. وقد صُممت الاستبانة بالاستناد إلى الأدبيات النظرية والدراسات المرجعية المعتمدة في الإطار النظري، وتم بناء فقراتها لتعكس الأبعاد والمؤشرات المستخلصة من تحليل المراجع العلمية. واعتمد مقياس ليكرت الخماسي (موافق بشدة = 5، موافق = 4، محايد = 3، غير موافق = 2، غير موافق بشدة = 1) لقياس استجابات المبحوثين على جميع فقرات الأداة.

هيكل الاستبانة

تتألف الاستبانة من ثلاثة أقسام رئيسية:

- القسم الأول: البيانات الديموغرافية ويتضمن أربعة أسئلة تتعلق بالجنس، المؤهل العلمي، سنوات الخبرة، والمدينة الصناعية.
- القسم الثاني: المتغير المستقل — فاعلية أنظمة الإنذار المبكر ويتكون من ثلاثة أبعاد يضم كل منها أربع فقرات، بإجمالي 12 فقرة:
- القسم الثالث: المتغير التابع — الحد من تأثير الكوارث الصناعية ويتكون من 12 فقرة موزعة على محور أحادي يقيس درجة فاعلية الحد من التأثير في أبعاده البشرية والمادية والبيئية والاقتصادية:

صدق أداة الدراسة

1. الصدق الظاهري (صدق المحكمين)

عُرضت الاستبانة في صورتها الأولية على 9 محكمين من أعضاء هيئة التدريس المتخصصين في إدارة الأعمال، وإدارة الأزمات، والسلامة الصناعية في عدد من الجامعات السعودية، وذلك للتحقق من وضوح الصياغة اللغوية، ومدى انتماء كل فقرة للبعد المندرجة تحته، وملاءمة مقياس الاستجابة. وقد أُجريت التعديلات اللازمة في ضوء ملاحظات المحكمين التي بلغت نسبة الاتفاق عليها 85% فأكثر، وشملت إعادة صياغة ثلاث فقرات لزيادة وضوحها ودمج فقرتين متشابهتين في المتغير التابع، ليستقر الشكل النهائي للأداة على 24 فقرة.

2. صدق الاتساق الداخلي

طُبِّقت الاستبانة على عينة استطلاعية مكونة من 35 مفردة من خارج العينة الأساسية وداخل مجتمع الدراسة، وحُسبت معاملات ارتباط بيرسون بين درجة كل فقرة والدرجة الكلية للبعد الذي تنتمي إليه. وجاءت النتائج على النحو التالي:

جدول (1): معاملات ارتباط بيرسون لفقرات بعد الجاهزية التقنية

رقم الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
1	0.813	0.001
2	0.779	0.001

0.001	0.842	3
0.001	0.756	4

جدول (2): معاملات ارتباط بيرسون لفقرات بعد سرعة الاستجابة

رقم الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
5	0.798	0.001
6	0.831	0.001
7	0.764	0.001
8	0.807	0.001

جدول (3): معاملات ارتباط بيرسون لفقرات بعد كفاءة الاتصال التحذيري

رقم الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
9	0.825	0.001
10	0.788	0.001
11	0.851	0.001
12	0.772	0.001

جدول (4): معاملات ارتباط بيرسون لفقرات المتغير التابع (الحد من تأثير الكوارث الصناعية)

رقم الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
13	0.793	0.001
14	0.817	0.001
15	0.762	0.001
16	0.835	0.001
17	0.748	0.001
18	0.801	0.001
19	0.823	0.001
20	0.776	0.001
21	0.809	0.001
22	0.791	0.001
23	0.754	0.001
24	0.768	0.001

تشير النتائج إلى أن جميع معاملات الارتباط دالة إحصائياً عند مستوى (0.01)، وتراوح بين (0.748) و(0.851)، مما يؤكد تمتع جميع فقرات الاستبانة بدرجة عالية من الاتساق الداخلي وانتمائها للأبعاد التي نقيسها.

3. الصدق البنائي

حُسبت معاملات الارتباط بين الدرجة الكلية لكل بُعد والدرجة الكلية للمتغير المستقل، وكذلك بين المتغير التابع والدرجة الكلية للأداة:

جدول (5): معاملات الصدق البنائي

البُعد / المتغير	معامل الارتباط بالدرجة الكلية	مستوى الدلالة
الجاهزية التقنية	0.891	0.001
سرعة الاستجابة	0.874	0.001
كفاءة الاتصال التحذيري	0.863	0.001
الحد من تأثير الكوارث الصناعية	0.907	0.001

تُظهر القيم أن جميع الأبعاد ترتبط بدرجة مرتفعة وذات دلالة إحصائية بالدرجة الكلية، مما يعزز الصدق البنائي للأداة ويؤكد ترابط مكوناتها ضمن البناء النظري المعتمد.

ثبات أداة الدراسة

اعتمد معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) لقياس الاتساق الداخلي لفقرات كل بُعد ولأداة ككل، وذلك على بيانات العينة الاستطلاعية (ن = 35). وجاءت النتائج كما يلي:

جدول (6): معاملات ثبات ألفا كرونباخ لأبعاد الدراسة

البُعد / المتغير	عدد الفقرات	معامل ألفا كرونباخ
الجاهزية التقنية	4	0.873
سرعة الاستجابة	4	0.861
كفاءة الاتصال التحذيري	4	0.885
إجمالي المتغير المستقل	12	0.924
الحد من تأثير الكوارث الصناعية	12	0.937
الأداة ككل	24	0.951

تتراوح قيم ألفا كرونباخ بين (0.861) و (0.937) للأبعاد المنفردة، وبلغت (0.951) للأداة ككل، وهي قيم تتجاوز الحد المقبول (0.70) بل تتعدى الحد المرتفع (0.80)، مما يدل على أن الأداة تتمتع بدرجة ثبات عالية جداً تُمكن من الاعتماد على نتائجها بثقة.

مصفوفة الارتباط بين متغيرات الدراسة

لاستكشاف طبيعة العلاقات بين أبعاد المتغير المستقل والمتغير التابع قبل إجراء تحليل الانحدار، حُسبت مصفوفة ارتباط بيرسون على بيانات العينة الأساسية (ن = 331):

جدول (7): مصفوفة ارتباط بيرسون بين متغيرات الدراسة

المتغير	الجاهزية التقنية	سرعة الاستجابة	كفاءة الاتصال التحذيري	الحد من تأثير الكوارث الصناعية
الجاهزية التقنية	1.000			
سرعة الاستجابة	0.684**	1.000		
كفاءة الاتصال التحذيري	0.621**	0.708**	1.000	
الحد من تأثير الكوارث الصناعية	0.739**	0.782**	0.724**	1.000

**دالة عند مستوى 0.01

تكشف المصفوفة عن عدة مؤشرات جوهرية. أولاً: تتراوح معاملات الارتباط بين أبعاد المتغير المستقل من (0.621) إلى (0.708)، وهي قيم تدل على ارتباط موجب قوي لكنه لا يصل إلى حد التداخل الخطي المتعدد (Multicollinearity) الذي يشترط عادةً ألا يتجاوز (0.80)، مما يؤكد أن الأبعاد الثلاثة تقيس جوانب مختلفة ومتمايزة لمفهوم فاعلية أنظمة الإنذار المبكر وإن كانت مترابطة نظرياً. ثانياً: يرتبط كل بُعد بالمتغير التابع ارتباطاً طردياً قوياً ودالاً إحصائياً، حيث جاء بُعد سرعة الاستجابة في المرتبة الأولى (0.782) يليه الجاهزية التقنية (0.739) ثم كفاءة الاتصال التحذيري (0.724). ثالثاً: تُبرّر هذه النتائج الأولوية المضي في استخدام تحليل الانحدار المتعدد لأن شروطه الأساسية — وجود ارتباط دال، غياب التداخل الخطي المتعدد — متحققة.

الأساليب الإحصائية المستخدمة

عولجت البيانات باستخدام برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS v.28)، واعتمدت الأساليب الإحصائية التالية:

- التكرارات والنسب المئوية: لوصف خصائص عينة الدراسة الديموغرافية وتوزيع استجابات المبحوثين.
- المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية: لتحديد مستوى موافقة المبحوثين على فقرات كل بُعد وترتيب الأبعاد وفقاً لدرجة الممارسة أو التطبيق.
- معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation): لقياس صدق الاتساق الداخلي لفقرات الاستبانة، ولإستكشاف العلاقات الارتباطية بين المتغيرات.
- معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha): للتحقق من ثبات أداة الدراسة واتساقها الداخلي.
- تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression): لاختبار أثر كل بُعد من أبعاد المتغير المستقل على المتغير التابع بشكل منفرد.
- تحليل الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Linear Regression): لاختبار الأثر المشترك لأبعاد المتغير المستقل مجتمعة على المتغير التابع، وتحديد الأهمية النسبية لكل بُعد في تفسير التباين.

تحليل البيانات واختبار الفرضيات

تحليل البيانات الديموغرافية

1. توزيع عينة الدراسة حسب الجنس

جدول (8): توزيع عينة الدراسة حسب الجنس

الجنس	التكرار	النسبة المئوية
ذكر	274	82.8%
أنثى	57	17.2%
الإجمالي	331	100%

يتضح من الجدول (8) أن الذكور يمثلون الغالبية العظمى من عينة الدراسة بنسبة (82.8%)، في حين بلغت نسبة الإناث (17.2%). ويتسق هذا التوزيع مع طبيعة العمل في أقسام السلامة الصناعية وإدارة المخاطر والطوارئ بالمدن الصناعية السعودية، حيث تظل هذه القطاعات ذات طابع ذكوري في الغالب.

وإن كانت نسبة مشاركة المرأة في تصاعد مستمر بما يتوافق مع مستهدفات رؤية المملكة 2030 في تمكين المرأة في مختلف القطاعات الاقتصادية.

2. توزيع عينة الدراسة حسب المؤهل العلمي

جدول (9): توزيع عينة الدراسة حسب المؤهل العلمي

المؤهل العلمي	التكرار	النسبة المئوية
دبلوم	58	17.5%
بكالوريوس	189	57.1%
ماجستير	64	19.3%
دكتوراه	20	6.0%
الإجمالي	331	100%

يوضح الجدول أن حاملي درجة البكالوريوس يشكلون النسبة الأكبر (57.1%)، يليهم حاملو الماجستير (19.3%) ثم الدبلوم (17.5%) وأخيراً الدكتوراه (6.0%). ويدل هذا التوزيع على أن غالبية المبحوثين يمتلكون مؤهلات جامعية وعليا تؤهلهم لفهم مضامين الاستبانة والإجابة عنها بوعي كافٍ، كما يعكس الطبيعة التخصصية للوظائف المرتبطة بأنظمة الإنذار المبكر والسلامة الصناعية التي تتطلب كفاءات علمية متقدمة.

3. توزيع عينة الدراسة حسب سنوات الخبرة

جدول (10): توزيع عينة الدراسة حسب سنوات الخبرة

سنوات الخبرة	التكرار	النسبة المئوية
أقل من 5 سنوات	72	21.8%
من 5 إلى أقل من 10 سنوات	114	34.4%
من 10 إلى أقل من 15 سنة	89	26.9%
15 سنة فأكثر	56	16.9%
الإجمالي	331	100%

يكشف الجدول أن الفئة الأكبر هي ذات الخبرة من (5 إلى أقل من 10 سنوات) بنسبة (34.4%)، تليها فئة (10 إلى أقل من 15 سنة) بنسبة (26.9%)، ثم فئة (أقل من 5 سنوات) بنسبة (21.8%)، وأخيراً فئة (15 سنة فأكثر) بنسبة (16.9%). ويلاحظ أن ما يزيد عن (78%) من أفراد العينة يمتلكون خبرة لا تقل عن خمس سنوات، مما يضيف مصداقية على استجاباتهم نظراً لتراكم خبراتهم العملية في التعامل مع أنظمة الإنذار وإدارة حالات الطوارئ الصناعية.

4. توزيع عينة الدراسة حسب المدينة الصناعية

جدول (11): توزيع عينة الدراسة حسب المدينة الصناعية

المدينة الصناعية	التكرار	النسبة المئوية
الجبيل الصناعية	98	29.6%
ينبع الصناعية	67	20.2%
رأس الخير الصناعية	42	12.7%
المدينة الصناعية بالرياض	55	16.6%
المدينة الصناعية بجدة	41	12.4%
المدينة الصناعية بالدمام	28	8.5%
الإجمالي	331	100%

يُظهر الجدول أن مدينة الجبيل الصناعية استحوذت على النسبة الأكبر (29.6%) وهو ما يتناسب مع كونها أكبر المدن الصناعية في المملكة من حيث عدد المنشآت والعمالة، تليها ينبع الصناعية (20.2%) ثم المدينة الصناعية بالرياض (16.6%)، فيما توزعت النسب المتبقية على رأس الخير وجدة والدمام. ويعكس هذا التوزيع التمثيل الجغرافي المتوازن الذي حرصت عليه الدراسة من خلال أسلوب العينة العشوائية الطبقية.

3.4 التحليل الوصفي لمتغيرات الدراسة

اعتمد المعيار التالي لتفسير المتوسطات الحسابية على مقياس ليكرت الخماسي: من (1.00) إلى (2.33) مستوى منخفض، ومن (2.34) إلى (3.67) مستوى متوسط، ومن (3.68) إلى (5.00) مستوى مرتفع.

1. التحليل الوصفي لُبعد الجاهزية التقنية

جدول (12): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد الجاهزية التقنية

ر قم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	المستوى
1	تتوافر في المنشأة أجهزة استشعار ورصد حديثة تعمل على مدار الساعة لرصد المؤشرات الحرجة (تسربات غازية، ارتفاع درجات الحرارة، تغيرات الضغط).	3.89	0.874	2	مرتفع
2	يتم تحديث البنية التحتية التقنية لأنظمة الإنذار المبكر بصورة دورية وفقاً لأحدث المعايير الدولية المعتمدة.	3.62	0.931	4	متوسط
3	تعمل أنظمة الإنذار المبكر في المنشأة بشكل متكامل مع قواعد البيانات التشغيلية والأنظمة الذكية لتحليل البيانات آنياً.	3.71	0.905	3	مرتفع
4	تمتلك المنشأة أنظمة طاقة احتياطية وبنية اتصالات بديلة تضمن استمرارية عمل منظومة الإنذار في حالات الطوارئ القصوى.	3.94	0.846	1	مرتفع

ر قم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	المستوى
	المتوسط العام للبعد	3.79	0.889	مرتفع	

يتبين من الجدول أن بُعد الجاهزية التقنية حقق متوسطاً عاماً مرتفعاً بلغ (3.79)، وهو ما يدل على أن المنشآت الصناعية في المدن الصناعية السعودية تمتلك بنية تحتية تقنية جيدة لدعم أنظمة الإنذار المبكر. وقد جاءت الفقرة (4) المتعلقة بأنظمة الطاقة الاحتياطية وبنية الاتصالات البديلة في المرتبة الأولى بمتوسط (3.94)، وهو ما يعكس اهتمام المنشآت بضمان استمرارية عمل أنظمة الإنذار حتى في الظروف القصوى. أما الفقرة (1) الخاصة بتوافر أجهزة الاستشعار والرصد الحديثة فقد جاءت في المرتبة الثانية بمتوسط (3.89). بينما حلت الفقرة (2) المتعلقة بالتحديث الدوري للبنية التحتية التقنية في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.62) وبمستوى متوسط، مما يشير إلى وجود فجوة نسبية في انتظام عمليات التحديث والمواكبة للمعايير الدولية الأحدث، وهي نقطة تستحق الاهتمام من قبل إدارات المنشآت والجهات التنظيمية.

2. التحليل الوصفي لبعد سرعة الاستجابة

جدول (13): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد سرعة الاستجابة

ر قم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	المستوى
5	يُصدر نظام الإنذار المبكر تنبيهات فورية خلال ثوانٍ معدودة من رصد أي مؤشر خطر يتجاوز الحدود المعيارية المحددة.	3.82	0.891	2	مرتفع
6	توجد بروتوكولات تشغيلية واضحة ومحدثة تحدد الإجراءات المطلوبة فور تلقي إنذار مبكر بمختلف مستوياته.	3.96	0.823	1	مرتفع
7	يتم تنفيذ تدريبات محاكاة دورية لقياس زمن الاستجابة الفعلي من لحظة صدور الإنذار حتى بدء تنفيذ إجراءات الطوارئ.	3.58	0.952	4	متوسط
8	تتكامل آليات الاستجابة بين الأقسام الداخلية (السلامة، التشغيل، الصيانة) والجهات الخارجية (الدفاع المدني، الجهات التنظيمية) بما يقلص الفجوة الزمنية بين الإنذار والتدخل.	3.73	0.917	3	مرتفع
	المتوسط العام للبعد	3.77	0.896	مرتفع	

يُظهر الجدول أن بُعد سرعة الاستجابة حقق متوسطاً عاماً مرتفعاً بلغ (3.77). وقد تصدرت الفقرة (6) المتعلقة بوجود بروتوكولات تشغيلية واضحة ومحدثة المرتبة الأولى بمتوسط (3.96)، وهو ما يعكس نضج المنشآت الصناعية السعودية في توثيق إجراءات الاستجابة للطوارئ وتصنيفها وفق مستويات الإنذار. أما الفقرة (5) الخاصة بسرعة إصدار التنبيهات الفورية فجاءت في المرتبة الثانية بمتوسط (3.82). في المقابل، جاءت الفقرة (7) المتعلقة بتنفيذ تدريبات المحاكاة الدورية في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.58) وبمستوى متوسط، مما يكشف عن حاجة المنشآت إلى تكثيف تمارين المحاكاة وقياس زمن الاستجابة الفعلي بشكل أكثر انتظاماً، باعتبار أن التدريبات العملية تُعد الاختبار الحقيقي لفاعلية أي نظام إنذار مبكر.

3. التحليل الوصفي لبعد كفاءة الاتصال التحذيري

جدول (14): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد كفاءة الاتصال التحذيري

رقم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	المستوى
-----	--------	--------------------	----------------------	---------	---------

9	تستخدم المنشأة قنوات اتصال تحذيرية متعددة ومتزامنة (صفارات إنذار، رسائل نصية، تطبيقات ذكية، لوحات إلكترونية) لضمان وصول التحذير لجميع العاملين.	3.85	0.868	2	مرتفع
10	تُصاغ رسائل الإنذار بلغة واضحة ومحددة تتضمن نوع الخطر، موقعه، ومسار الإخلاء المطلوب، مع مراعاة التعددية اللغوية للقوى العاملة.	3.69	0.943	3	مرتفع
11	يوجد نظام تغذية راجعة يتحقق من استلام جميع الأفراد المستهدفين لرسالة الإنذار وفهمهم لمحتواها خلال الوقت المحدد.	3.47	0.986	4	متوسط
12	تخضع قنوات الاتصال التحذيري لاختبارات تشغيلية منتظمة لضمان جاهزيتها وعدم تعرضها لأعطال تقنية وقت الأزمات الفعلية.	3.91	0.852	1	مرتفع
المتوسط العام للبُعد		3.73	0.912	مرتفع	

يبيّن الجدول أن بُعد كفاءة الاتصال التحذيري حقق متوسطاً عاماً مرتفعاً بلغ (3.73). وقد احتلت الفقرة (12) المتعلقة بالاختبارات التشغيلية المنتظمة لقنوات الاتصال المرتبة الأولى بمتوسط (3.91)، مما يدل على إدراك المنشآت لأهمية التحقق من جاهزية وسائل الاتصال قبل وقوع الأزمات. وجاءت الفقرة (9) الخاصة بتعدد قنوات الاتصال وتزامنها في المرتبة الثانية بمتوسط (3.85). غير أن الفقرة (11) المتعلقة بنظام التغذية الراجعة للتحقق من استلام الإنذار وفهمه جاءت في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.47) وبمستوى متوسط، وهي الفقرة الأدنى على مستوى المتغير المستقل ككل. ويكشف ذلك عن ثغرة جوهرية في منظومة الاتصال التحذيري تتمثل في ضعف آليات التأكد من أن الرسالة التحذيرية لم تُرسل فحسب بل وصلت وفُهمت من قبل جميع المعنيين، وهو ما يُضعف فاعلية النظام ككل حتى لو كانت البنية التقنية متقدمة.

4. ملخص التحليل الوصفي للمتغير المستقل (فاعلية أنظمة الإنذار المبكر)

جدول (15): ترتيب أبعاد المتغير المستقل حسب المتوسطات الحسابية

البُعد	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	المستوى
الجاهزية التقنية	3.79	0.889	1	مرتفع
سرعة الاستجابة	3.77	0.896	2	مرتفع
كفاءة الاتصال التحذيري	3.73	0.912	3	مرتفع
المتوسط العام للمتغير المستقل	3.76	0.899		مرتفع

يتّضح من الجدول أن المتوسط العام لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر في المدن الصناعية السعودية بلغ (3.76) بمستوى مرتفع. وقد تصدر بُعد الجاهزية التقنية المرتبة الأولى بمتوسط (3.79)، يليه بُعد سرعة الاستجابة بمتوسط (3.77)، ثم بُعد كفاءة الاتصال التحذيري في المرتبة الثالثة بمتوسط (3.73). ويدل تقارب المتوسطات بين الأبعاد الثلاثة على توازن نسبي في مستوى تطبيق مكونات أنظمة الإنذار المبكر، وإن كان بُعد الاتصال التحذيري يحتاج إلى مزيد من التطوير خاصة في جانب التغذية الراجعة وضمان الفهم المشترك للرسائل التحذيرية.

5. التحليل الوصفي للمتغير التابع (الحد من تأثير الكوارث الصناعية)

جدول (16): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات المتغير التابع

رقم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	المستوى
13	أسهمت أنظمة الإنذار المبكر المطبقة في المنشأة في خفض عدد الإصابات البشرية الناتجة عن الحوادث الصناعية بشكل ملموس.	3.91	0.859	2	مرتفع
14	تُمكن إجراءات الإنذار المبكر من الإخلاء الآمن والسريع للعاملين قبل تفاقم الحوادث إلى مستوى الكارثة.	3.97	0.831	1	مرتفع
15	تراجعت حالات التعرض المهني للمواد الخطرة بفعل التنبيه المبكر بتجاوز التركيزات المسموح بها.	3.78	0.903	5	مرتفع
16	ساهم الكشف المبكر عن الأعطال في تقليل الأضرار التي تلحق بالمعدات والمنشآت الصناعية.	3.86	0.877	3	مرتفع
17	حدّت أنظمة الإنذار من حدوث تأثيرات الدومينو بين الوحدات الإنتاجية المتجاورة داخل المدينة الصناعية.	3.64	0.948	9	متوسط
18	ساعد التنبيه المبكر في حماية البنية التحتية المشتركة (شبكات الطاقة، المياه، الطرق) من الأضرار الجسيمة.	3.72	0.921	7	مرتفع
19	أسهمت أنظمة الإنذار في الحد من انتشار الملوثات الكيميائية والغازية إلى البيئة المحيطة بالمنشأة.	3.81	0.889	4	مرتفع
20	تُمكن التنبيهات المبكرة من تفعيل خطط الاحتواء البيئي قبل تفاقم التسربات أو الانبعاثات.	3.75	0.912	6	مرتفع
21	انخفضت تكاليف التعويضات والإصلاح الناجمة عن الحوادث الصناعية نتيجة للتدخل المبكر الذي تنتجه أنظمة الإنذار.	3.68	0.934	8	مرتفع
22	ساهم الإنذار المبكر في تقليل فترات توقف الإنتاج غير المخطط لها الناتجة عن الحوادث والأعطال.	3.83	0.871	4	مرتفع
23	أسهمت أنظمة الإنذار في الحفاظ على استمرارية سلاسل الإمداد وعدم تأثر العملاء والشركاء التجاريين بالحوادث الصناعية.	3.59	0.957	11	متوسط
24	أدى تطبيق أنظمة الإنذار المبكر إلى خفض أقساط التأمين على المنشأة نتيجة تحسن مؤشرات السلامة الصناعية.	3.52	0.974	12	متوسط
المتوسط العام للمتغير التابع		3.76	0.910	متوسط	

يُظهر الجدول أن المتوسط العام للمتغير التابع بلغ (3.76) بمستوى مرتفع، مما يعكس إدراك المبحوثين لدور أنظمة الإنذار المبكر في الحد من تأثير الكوارث الصناعية بمختلف أبعادها. وقد تصدرت الفقرة (14) المتعلقة بالإخلاء الآمن والسريع للعاملين المرتبة الأولى بمتوسط (3.97)، وهو ما يؤكد أن البعد البشري هو الأكثر استفادة من أنظمة الإنذار في نظر العاملين. وجاءت الفقرة (13) الخاصة بخفض الإصابات البشرية في المرتبة الثانية بمتوسط (3.91)، مما يعزز هذا التوجه.

في المقابل، حلت الفقرة (24) المتعلقة بخفض أقساط التأمين في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.52) وبمستوى متوسط، وهو ما قد يُفسر بأن العلاقة بين تطبيق أنظمة الإنذار وتخفيض أقساط التأمين ليست مباشرة أو سريعة من وجهة نظر العاملين الميدانيين، أو أن شركات التأمين لم تُطور بعد نماذج تسعير تربط بوضوح

بين جودة أنظمة الإنذار المبكر ومعدلات الأخطاء. كما جاءت الفقرة (23) المتعلقة باستمرارية سلاسل الإمداد بمستوى متوسط (3.59)، والفقرة (17) الخاصة بالحد من تأثيرات الدومينو بمستوى متوسط كذلك (3.64)، وهو ما يشير إلى أن التأثيرات غير المباشرة والممتدة للكوارث الصناعية لا تزال تمثل تحدياً لأنظمة الإنذار المبكر الحالية.

اختبار فرضيات الدراسة

اختبار الفرضية الرئيسية

نص الفرضية الرئيسية: "يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها (الجاهزية التقنية، سرعة الاستجابة، كفاءة الاتصال التحذيري) في الحد من تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية".

للتحقق من هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Regression) بهدف قياس تأثير أبعاد فاعلية أنظمة الإنذار المبكر (كمعامل مستقلة) على الحد من تأثير الكوارث الصناعية (كمعامل تابع). وقد جاءت نتائج التحليل كما يلي:

جدول (17): نتائج تحليل الانحدار المتعدد لأثر أبعاد فاعلية أنظمة الإنذار المبكر على الحد من تأثير

الكوارث الصناعية

المتغيرات المستقلة	معاملات الانحدار (B)	قيمة اختبار T	مستوى الدلالة (Sig.)
(Constant) المقدار الثابت	0.437	3.284	**0.001
الجاهزية التقنية	0.341	5.872	**0.000
سرعة الاستجابة	0.389	6.418	**0.000
كفاءة الاتصال التحذيري	0.248	4.536	**0.000
معامل الارتباط $R = 0.857$ معامل التحديد $R^2 = 0.734$			
قيمة الاختبار $F = 301.126$ القيمة الاحتمالية $\text{Sig. F} = 0.000$			

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

تشير نتائج تحليل الانحدار المتعدد الموضحة في الجدول إلى وجود علاقة تأثيرية دالة إحصائياً بين أبعاد فاعلية أنظمة الإنذار المبكر كمتغيرات مستقلة، والحد من تأثير الكوارث الصناعية كمتغير تابع. فقد بلغ معامل التحديد (R^2) قيمة قدرها (0.734)، وهي نسبة مرتفعة تدل على أن (73.4%) من التباين في مستوى الحد من تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية السعودية يمكن تفسيره من خلال الأبعاد الثلاثة المتعلقة بفاعلية أنظمة الإنذار المبكر، بينما تُعزى النسبة المتبقية (26.6%) إلى عوامل أخرى لم تتناولها الدراسة الحالية. كما تشير قيمة معامل الارتباط ($R = 0.857$) إلى وجود ارتباط قوي وطردى بين المتغيرات المدروسة.

أما على مستوى الأبعاد الفردية، فقد تبين أن بُعد "سرعة الاستجابة" هو الأكثر تأثيراً على الحد من تأثير الكوارث الصناعية، حيث بلغ معامل الانحدار له ($B = 0.389$)، وبلغت قيمة T (6.418) بدلالة معنوية عالية ($\text{Sig.} = 0.000$). ويؤكد ذلك الدور الحاسم الذي يلعبه عامل الوقت في إدارة الكوارث الصناعية، إذ إن كل دقيقة تفصل بين الإنذار والاستجابة قد تعني الفارق بين حادث محدود وكارثة واسعة النطاق. وجاء بُعد "الجاهزية التقنية" في المرتبة الثانية بمعامل انحدار ($B = 0.341$) وقيمة T (5.872) بدلالة

(Sig. = 0.000)، مما يعكس أهمية البنية التحتية التقنية في توفير البيانات الدقيقة والآنية التي تُبنى عليها قرارات الاستجابة.

كما أظهرت النتائج أن بُعد "كفاءة الاتصال التحذيري" يساهم بشكل دال في تفسير التباين في المتغير التابع بمعامل انحدار ($B = 0.248$) وقيمة T (4.536) بدلالة (Sig. = 0.000)، وإن كان تأثيره أقل نسبياً مقارنة بالبعدين الآخرين. ويمكن تفسير ذلك بأن كفاءة الاتصال التحذيري تمثل حلقة الوصل بين الجاهزية التقنية وسرعة الاستجابة، فهي شرط ضروري لكنها لا تحدث أثرها الأقصى إلا بالتكامل مع البعدين الآخرين. وبناءً على ذلك، تؤكد هذه النتائج صحة الفرضية الرئيسية للدراسة بوجود أثر دال إحصائياً لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها الثلاثة في الحد من تأثير الكوارث الصناعية.

اختبار الفرضيات الفرعية

الفرضية الفرعية الأولى

نص الفرضية: "يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) للجاهزية التقنية في الحد من تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية."

للتحقق من صحة هذا الفرض تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (18): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر الجاهزية التقنية على الحد من تأثير الكوارث

الصناعية

المتغير التابع	معامل الارتباط r	معامل التحديد R^2	درجة الحرية df	F المحسوبة	Sig. F	المتغير المستقل	B	الخطأ المعياري	T	Sig. t
الحد من تأثير الكوارث الصناعية	0.739	0.546	1	395.814	0.000	الجاهزية التقنية	0.618	0.031	0.739	19.895

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

تُظهر نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط الموضحة في الجدول أن معامل الارتباط (r) بلغ (0.739)، وهو ما يعكس وجود علاقة ارتباط موجبة قوية بين الجاهزية التقنية والحد من تأثير الكوارث الصناعية. كما بلغت قيمة معامل التحديد ($R^2 = 0.546$)، مما يشير إلى أن (54.6%) من التباين في مستوى الحد من تأثير الكوارث الصناعية يُمكن تفسيره من خلال بُعد الجاهزية التقنية فقط، دون تدخل بقية الأبعاد الأخرى.

وبالاطلاع على نتائج تحليل التباين (ANOVA)، نجد أن قيمة F المحسوبة بلغت (395.814) بمستوى دلالة (Sig. = 0.000)، وهي قيمة دالة إحصائياً عند مستوى (0.01)، مما يعزز من دلالة النموذج ككل في تفسير الفرضية. أما على مستوى معاملات الانحدار، فقد بلغ معامل التأثير ($B = 0.618$)، بقيمة T (= 19.895)، وهي أيضاً دالة عند مستوى (Sig. = 0.000)، ما يدل على أن أي زيادة بمقدار وحدة واحدة في مستوى الجاهزية التقنية تؤدي إلى زيادة بمقدار (0.618) في مستوى الحد من تأثير الكوارث الصناعية، ضمن شروط النموذج. وبناءً على ذلك، تُقبل الفرضية الفرعية الأولى بوجود أثر ذي دلالة إحصائية للجاهزية التقنية في الحد من تأثير الكوارث الصناعية.

٢٠ الفرضية الفرعية الثانية

نص الفرضية: "يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لسرعة الاستجابة في الحد من تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية".
للتحقق من صحة هذا الفرض تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:
جدول (19): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر سرعة الاستجابة على الحد من تأثير الكوارث الصناعية

المتغير التابع	معامل الارتباط r	معامل التحديد R ²	درجة الحرية df	F المحسوبة	Sig. F	المتغير المستقل	B	الخطأ المعياري	T	Sig. t
الحد من تأثير الكوارث الصناعية	0.782	0.612	1	518.637	0.000	سرعة الاستجابة	0.671	0.029	0.782	22.774

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

تكشف نتائج الجدول أن معامل الارتباط (r) بلغ (0.782)، وهو أعلى معامل ارتباط بين أبعاد المتغير المستقل والمتغير التابع، مما يؤكد أن سرعة الاستجابة هي البعد الأكثر ارتباطاً بالحد من تأثير الكوارث الصناعية. وبلغت قيمة معامل التحديد (R^2) = (0.612)، أي أن (61.2%) من التباين في المتغير التابع يمكن تفسيره من خلال بُعد سرعة الاستجابة منفرداً، وهي نسبة تفسيرية مرتفعة تعكس الأهمية الاستثنائية لعامل الزمن في سياق الكوارث الصناعية.

وبلغت قيمة F المحسوبة (518.637) بمستوى دلالة (Sig. = 0.000)، مما يؤكد معنوية النموذج. أما معامل التأثير فقد بلغ ($B = 0.671$) بقيمة ($T = 22.774$) ودلالة (Sig. = 0.000)، ما يعني أن أي زيادة بمقدار وحدة واحدة في مستوى سرعة الاستجابة تؤدي إلى زيادة بمقدار (0.671) في مستوى الحد من تأثير الكوارث الصناعية. وتُفسر هذه القوة التأثيرية بأن طبيعة الكوارث الصناعية — كالتسربات الكيميائية والانفجارات والحرائق — تتسم بالتنوع السريع، مما يجعل كل ثانية من تأخر الاستجابة عاملاً مضاعفاً للأضرار البشرية والمادية والبيئية. وبناءً على ذلك، تُقبل الفرضية الفرعية الثانية بوجود أثر ذي دلالة إحصائية لسرعة الاستجابة في الحد من تأثير الكوارث الصناعية.

٢١ الفرضية الفرعية الثالثة

نص الفرضية: "يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لكفاءة الاتصال التحذيري في الحد من تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية بالمملكة العربية السعودية".
للتحقق من صحة هذا الفرض تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:
جدول (20): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر كفاءة الاتصال التحذيري على الحد من تأثير الكوارث الصناعية

المتغير التابع	معامل الارتباط r	معامل التحديد R ²	درجة الحرية df	F المحسوبة	Sig. F	المتغير المستقل	B	الخطأ المعياري	T	Sig. t
الحد من تأثير الكوارث الصناعية	0.724	0.524	1	362.249	0.000	كفاءة الاتصال التحذيري	0.593	0.031	0.724	19.033

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

توضح نتائج الجدول أن معامل الارتباط (r) بلغ (0.724)، مما يعكس علاقة ارتباط موجبة قوية بين كفاءة الاتصال التحذيري والحد من تأثير الكوارث الصناعية. وبلغت قيمة معامل التحديد (R^2) = (0.524)، أي أن (52.4%) من التباين في المتغير التابع يُفسَّر بواسطة هذا البُعد منفرداً. وعلى الرغم من أن هذه النسبة أقل مقارنة ببُعد سرعة الاستجابة (61.2%) وبُعد الجاهزية التقنية (54.6%)، إلا أنها تظل نسبة مرتفعة تؤكد الأهمية الجوهرية لكفاءة قنوات الاتصال التحذيري في منظومة الحد من الكوارث. وبلغت قيمة F المحسوبة (362.249) بمستوى دلالة (Sig. = 0.000)، مما يؤكد معنوية النموذج. أما معامل التأثير فقد بلغ (B = 0.593) بقيمة (T = 19.033) ودلالة (Sig. = 0.000)، ما يدل على أن أي زيادة بمقدار وحدة واحدة في مستوى كفاءة الاتصال التحذيري تؤدي إلى زيادة بمقدار (0.593) في مستوى الحد من تأثير الكوارث الصناعية. ويُلفت الانتباه أن هذا البُعد رغم حصوله على أدنى متوسط حسابي في التحليل الوصفي (3.73) بين أبعاد المتغير المستقل، يمتلك قدرة تفسيرية كبيرة في نموذج الانحدار، مما يعني أن أي تحسين في كفاءة الاتصال التحذيري سيحدث أثراً ملموساً في مستوى الحد من الكوارث، وهو ما يجعله مجالاً ذا أولوية للتطوير. وبناءً على ذلك، تُقبل الفرضية الفرعية الثالثة بوجود أثر ذي دلالة إحصائية لكفاءة الاتصال التحذيري في الحد من تأثير الكوارث الصناعية.

ملخص نتائج اختبار الفرضيات

جدول (21): ملخص نتائج اختبار فرضيات الدراسة

الفرضية	المتغير المستقل	معامل الارتباط r	معامل التحديد R ²	قيمة B	قيمة T / F	Sig.	النتيجة
الرئيسية	أبعاد فاعلية أنظمة الإنذار المبكر مجتمعة	0.857	0.734	F = 301.126	0.000	قبول الفرضية	الرئيسية
الفرعية الأولى	الجاهزية التقنية	0.739	0.546	T = 19.895	0.000	قبول الفرضية	الفرعية الأولى
الفرعية الثانية	سرعة الاستجابة	0.782	0.612	T = 22.774	0.000	قبول الفرضية	الفرعية الثانية
الفرعية الثالثة	كفاءة الاتصال التحذيري	0.724	0.524	T = 19.033	0.000	قبول الفرضية	الفرعية الثالثة

يتضح من الجدول أن جميع فرضيات الدراسة قد تم قبولها عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$)، مما يؤكد وجود أثر إيجابي دال إحصائياً لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها الثلاثة في الحد من تأثير الكوارث الصناعية في المدن الصناعية بالملكة العربية السعودية. وقد أظهر النموذج المتعدد قدرة تفسيرية أعلى

(73.4%) مقارنة بالنماذج المنفردة، مما يبرز أهمية التكامل بين الأبعاد الثلاثة لتحقيق أقصى مستوى من فاعلية أنظمة الإنذار المبكر في الحد من الكوارث. كما تبين أن ترتيب الأبعاد من حيث القوة التأثيرية هو: سرعة الاستجابة أولاً، ثم الجاهزية التقنية ثانياً، ثم كفاءة الاتصال التحذيري ثالثاً، وهو ترتيب يتسق مع المنطق العلمي الذي يؤكد أن سرعة التحرك في بيئة الكوارث الصناعية ذات التصاعد السريع تُعد العامل الأكثر حسماً في تقليل حجم الأضرار.

النتائج والتوصيات

نتائج الدراسة

أظهرت نتائج التحليل الوصفي أن المستوى العام لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر في المدن الصناعية السعودية جاء مرتفعاً بمتوسط حسابي بلغ (3.76 من 5.00). ويُفسر هذا المستوى المرتفع بالاستثمارات الضخمة التي ضختها المملكة العربية السعودية في البنية التحتية للمدن الصناعية ضمن إطار رؤية 2030، فضلاً عن الالتزام بالمعايير الدولية للسلامة الصناعية التي تفرضها الهيئة الملكية للجبيل وينبع وهيئة المدن الصناعية (مدن) على المنشآت العاملة. ويتسق ذلك مع ما أشارت إليه منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك، 2024) بشأن تسارع التحول الرقمي في قطاع الصناعات البتروكيميائية والنفطية بدول الخليج وانعكاسه الإيجابي على منظومات السلامة، كما يتوافق مع ما أكدته Romadiana et al. (2025) من أن البنية الرقمية المتقدمة تُعد شرطاً أساسياً لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر.

كشف التحليل الوصفي أن بُعد الجاهزية التقنية احتل المرتبة الأولى بمتوسط (3.79)، يليه بُعد سرعة الاستجابة بمتوسط (3.77)، ثم بُعد كفاءة الاتصال التحذيري في المرتبة الثالثة بمتوسط (3.73). ويعود تصدر الجاهزية التقنية إلى أن المنشآت الصناعية السعودية — خاصة في مدينتي الجبيل وينبع — تعتمد على تقنيات رصد واستشعار متقدمة مستوردة من الشركات العالمية الرائدة في هذا المجال، وتخضع لمراجعات تقنية صارمة من الجهات التنظيمية. ويتوافق ذلك مع ما أكدته Wei et al. (2023) من أن تكامل تقنيات إنترنت الأشياء مع أنظمة الإنذار في المجمعات الكيميائية يرفع مستوى الجاهزية التقنية بشكل ملحوظ، كما يتسق مع ما أشار إليه Yan et al. (2024) بخصوص أهمية بناء نماذج تنبؤية ذكية تعتمد على بيانات الاستشعار الآني في المنشآت المعدنية والصناعية.

أما حلول بُعد كفاءة الاتصال التحذيري في المرتبة الأخيرة، وبخاصة تدني مستوى فقرة نظام التغذية الراجعة (متوسط 3.47)، فيُفسر بتعدد بيئة الاتصال في المدن الصناعية السعودية التي تضم قوى عاملة متعددة الجنسيات واللغات، مما يُصعب التحقق من وصول الرسالة التحذيرية وفهمها من جميع الأفراد المستهدفين. وقد أكد مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار بمجلس الوزراء المصري (2024) أن فجوة الفهم المشترك للرسائل التحذيرية تُعدّ من أبرز التحديات التي تواجه أنظمة الإنذار المبكر في المنطقة العربية، بينما أشار Pescaroli et al. (2025) إلى أن الفجوة بين إرسال التحذير واستيعابه من قبل المتلقين لا تزال تمثل ثغرة بحثية وعملية في أدبيات أنظمة الإنذار المبكر عالمياً.

بلغ المتوسط العام للمتغير التابع (3.76) بمستوى مرتفع، حيث تصدرت الفقرات المتعلقة بالبُعد البشري (الإخلاء الآمن بمتوسط 3.97، وخفض الإصابات بمتوسط 3.91) المراتب العليا، بينما جاءت الفقرات المتعلقة بالأبعاد الاقتصادية غير المباشرة (خفض أقساط التأمين بمتوسط 3.52، واستمرارية سلاسل الإمداد بمتوسط 3.59) في المراتب الأخيرة. ويُفسر هذا التفاوت بأن التأثير المباشر لأنظمة الإنذار المبكر

على حماية الأرواح البشرية يكون ملموساً وفورياً من خلال عمليات الإخلاء والإبعاد عن مناطق الخطر، بينما تتطلب التأثيرات الاقتصادية غير المباشرة سلسلة أطول من الإجراءات المتكاملة تتجاوز نظام الإنذار ذاته لتشمل خطط استمرارية الأعمال والعلاقة التعاقدية مع شركات التأمين. ويتفق ذلك مع ما أوردته الأمم المتحدة للحد من مخاطر الكوارث (UNDRR, 2023) من أن الأثر الأكثر وضوحاً لأنظمة الإنذار المبكر يتمثل في خفض الخسائر البشرية المباشرة، في حين تحتاج الآثار الاقتصادية طويلة المدى إلى منظومة أوسع من السياسات والتشريعات. كما يتسق مع ما أشار إليه (Kalogiannidis et al. (2025 من أن قياس الفاعلية الاقتصادية لأنظمة الإنذار يتطلب مؤشرات متعددة الأبعاد ومتابعة طويلة تمتد لسنوات.

أثبت تحليل الانحدار المتعدد وجود أثر ذي دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha \leq 0.05$) لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها الثلاثة مجتمعة في الحد من تأثير الكوارث الصناعية، حيث بلغ معامل التحديد ($R^2 = 0.734$) ومعامل الارتباط ($R = 0.857$) وقيمة F (301.126) بدلالة (0.000)، ويعني ذلك أن (73.4%) من التباين في مستوى الحد من تأثير الكوارث الصناعية يُفسر بفاعلية أنظمة الإنذار المبكر بأبعادها الثلاثة، وهي قدرة تفسيرية مرتفعة تؤكد المكانة المحورية لهذه الأنظمة في منظومة إدارة الكوارث الصناعية. ويُفسر ارتفاع هذه القدرة التفسيرية بأن أنظمة الإنذار المبكر لا تعمل كأداة تنبيه فحسب بل تُشكل العمود الفقري لسلسلة القرارات الطارئة التي تبدأ من الكشف وتنتهي بالاحتواء والتعافي. وقد توصلت الموسوي والصالح (2020) إلى أن فاعلية نظم الإنذار المبكر ترتبط ارتباطاً وثيقاً بقدرتها على التكامل بين مكوناتها التقنية والبشرية والاتصالية، كما أكد (Rokhdeh et al. (2025 أن أنظمة الإنذار المبكر متعددة المخاطر التي تجمع بين الرصد والتحليل والاتصال والاستجابة تحقق أعلى مستويات الفاعلية في تقليل آثار الكوارث.

أكد تحليل الانحدار البسيط وجود أثر دال إحصائياً للجاهزية التقنية في الحد من تأثير الكوارث الصناعية بمعامل ارتباط ($r = 0.739$) ومعامل تحديد ($R^2 = 0.546$) ومعامل تأثير ($B = 0.618$)، ويعني ذلك أن الجاهزية التقنية منفردة تُفسر (54.6%) من التباين في المتغير التابع، وهي نسبة تعكس الدور الجوهري للبنية التحتية التقنية بوصفها الأساس الذي تُبنى عليه جميع عمليات الإنذار والاستجابة. ويُفسر هذا الأثر القوي بأن المنشآت التي تمتلك أجهزة استشعار حديثة وأنظمة تحليل بيانات آنية وبنية طاقة احتياطية تكون أكثر قدرة على اكتشاف المخاطر في مراحلها المبكرة قبل تفاقمها إلى كوارث. وقد أوضح خلوفي وشريط (2021) أن فاعلية أنظمة الإنذار المبكر تتوقف أولاً على متانة بنيتها التقنية وقدرتها على الرصد المستمر والدقيق، كما أكد (Chai et al. (2025 أن تقنيات التعلم الآلي المبنية على بيانات استشعارية عالية الجودة تُحسن بشكل جوهري دقة التنبؤ بالمخاطر في قطاع نقل المواد الخطرة.

أظهر تحليل الانحدار البسيط أن بُعد سرعة الاستجابة هو الأكثر تأثيراً في الحد من تأثير الكوارث الصناعية بمعامل ارتباط ($r = 0.782$) ومعامل تحديد ($R^2 = 0.612$) ومعامل تأثير ($B = 0.671$)، وهي أعلى القيم بين الأبعاد الثلاثة. ويُفسر هذا التفوق بالطبيعة الخاصة للكوارث الصناعية التي تتسم بسرعة التصاعد والانتشار — كالانفجارات الكيميائية والتسربات الغازية — حيث يحدث عامل الزمن فارقاً حاسماً بين حادث محدود النطاق وكارثة مدمرة تمتد آثارها إلى المنشآت المجاورة والمجتمعات المحيطة عبر ما يُعرف بتأثير الدومينو. وقد أشار (Zhan et al. (2023 إلى أن تقليص الفجوة الزمنية بين الإنذار والاستجابة يُعدّ المتغير الأكثر حسماً في تقليل حجم الأضرار في حالات الطوارئ الحضرية والصناعية،

كما أكد قواسمية (2021) أن القيمة الحقيقية لأنظمة الإنذار المبكر تتجلى في قدرتها على منح صنّاع القرار نافذة زمنية كافية لاتخاذ إجراءات وقائية فاعلة قبل بلوغ الأزمة ذروتها. أكد تحليل الانحدار البسيط وجود أثر دال إحصائياً لكفاءة الاتصال التحذيري في الحد من تأثير الكوارث الصناعية بمعامل ارتباط ($r = 0.724$) ومعامل تحديد ($R^2 = 0.524$) ومعامل تأثير ($B = 0.593$) وعلى الرغم من أن هذا البعد جاء في المرتبة الثالثة من حيث القوة التأثيرية، إلا أن قدرته التفسيرية تظل مرتفعة (52.4%)، مما يعني أنه يُشكّل أكثر من نصف التباين في المتغير التابع بمعزل عن البعدين الآخرين. ويُفسّر الأثر المرتفع لهذا البعد بأن أي نظام إنذار — مهما بلغت دقة أجهزته وسرعة استجابته — لن يحقق غايته ما لم تصل رسالته التحذيرية إلى جميع المعنيين بوضوح وفي الوقت المناسب. وقد أكد Hermans et al. (2022) أن دمج المعرفة المحلية مع المعرفة العلمية في صياغة الرسائل التحذيرية يُعزّز فهم المجتمعات لمحتوى الإنذار ويُحسّن استجابتها، كما أشار ثانون وآخرون (2021) إلى أن نجاح أنظمة الإنذار المبكر في الحد من مخاطر الكوارث يرتبط ارتباطاً وثيقاً بقدرة قنوات الاتصال على الوصول إلى الفئات الأكثر عرضة للخطر بلغة يفهمونها ومن خلال وسائط يتقنون بها.

التوصيات

- في ضوء ما أسفرت عنه الدراسة من نتائج، يُقدّم الباحث التوصيات التالية:
- تبني خطط تحديث دورية مُجدولة للبنية التحتية لأنظمة الإنذار المبكر في المدن الصناعية السعودية، بحيث لا تتجاوز الفترة بين كل عملية تحديث شاملة ثلاث سنوات كحد أقصى، مع تخصيص بنود ميزانية مستقلة لذلك ضمن الموازنات التشغيلية السنوية للمنشآت الصناعية.
 - إلزام المنشآت الصناعية بتنفيذ تدريبات محاكاة ربع سنوية على الأقل تحاكي سيناريوهات كوارث متنوعة (تسربات كيميائية، انفجارات، حرائق صناعية)، مع قياس زمن الاستجابة الفعلي وتوثيقه ومقارنته بالمعايير المرجعية المحددة، وإدراج نتائج هذه التدريبات ضمن مؤشرات الأداء الرئيسية للمنشأة.
 - تطوير نظام تغذية راجعة إلكتروني متعدد القنوات يتحقق آلياً من استلام جميع العاملين لرسالة الإنذار وفهمهم لمحتواها، من خلال تقنيات مثل الإشعار بالقراءة والاستجابة التفاعلية السريعة ورسائل التأكيد المرتجعة، مع وضع بروتوكولات تصعيد فورية في حال عدم تأكيد الاستلام خلال مدة زمنية محددة.
 - صياغة رسائل الإنذار التحذيرية بما لا يقل عن أربع لغات (العربية، الإنجليزية، الأردية، الهندية) تُغطّي الشريحة الأكبر من القوى العاملة في المدن الصناعية السعودية، مع استخدام رموز بصرية وصوتية موحدة تتخطى الحواجز اللغوية وتضمن الفهم المشترك.
 - إنشاء مركز بيانات مشترك على مستوى كل مدينة صناعية يعمل على دمج بيانات الرصد من جميع المنشآت العاملة في منصة موحدة، بما يُمكن من الكشف المبكر عن المخاطر العابرة للمنشآت والحد من تأثيرات الدومينو بين الوحدات الإنتاجية المتجاورة.
 - تعزيز التكامل بين أنظمة الإنذار المبكر الداخلية في المنشآت وأنظمة الاستجابة الخارجية لدى الدفاع المدني والجهات التنظيمية، من خلال بروتوكولات ربط إلكتروني مباشر تُتيح تبادل البيانات الآني وتقلص الفجوة الزمنية بين الإنذار الداخلي والتدخل الخارجي.

- تضمين مؤشرات فاعلية أنظمة الإنذار المبكر ضمن معايير تصنيف المنشآت الصناعية لدى شركات التأمين، بما يُحفّز المنشآت على الاستثمار في تطوير هذه الأنظمة من خلال الحصول على أقساط تأمين تنافسية ترتبط بمستوى جاهزيتها التقنية وسرعة استجابتها.
- بناء برامج تأهيل وتدريب مستمرة للعاملين في أقسام السلامة وإدارة الطوارئ تُركّز على المهارات التقنية في تشغيل أنظمة الإنذار وصيانتها، ومهارات الاتصال في الأزمات، ومهارات اتخاذ القرار تحت ضغط الوقت، مع ربط الترقي الوظيفي باجتياز هذه البرامج.
- تطوير تطبيقات ذكية مخصصة للعاملين في المدن الصناعية تُوفّر إشارات فورية مُخصّصة حسب الموقع الجغرافي للعامل داخل المنشأة، وتتضمن خرائط إخلاء تفاعلية وتوجيهات صوتية بلغة العامل المفضّلة.
- إجراء تقييمات سنوية شاملة لفاعلية أنظمة الإنذار المبكر في كل مدينة صناعية باستخدام مؤشرات أداء رئيسية موحّدة تشمل الأبعاد الثلاثة (الجاهزية التقنية، سرعة الاستجابة، كفاءة الاتصال التحذيري)، ونشر نتائج هذه التقييمات بشفافية لتعزيز ثقافة التحسين المستمر.
- الاستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في تطوير نماذج تنبؤية قادرة على تحليل أنماط البيانات التشغيلية واستشراف المخاطر المحتملة قبل وقوعها بفترة كافية، بدلاً من الاقتصار على الاستجابة للمؤشرات الحرجة بعد تجاوزها للحدود المعيارية.
- تأسيس شبكة تعاون معرفي بين المدن الصناعية السعودية لتبادل الخبرات والدروس المستفادة من حوادث الكوارث الصناعية وتجارب أنظمة الإنذار المبكر، بما يُسهم في بناء قاعدة معرفية وطنية تُثري عمليات التطوير المستمر.

المراجع

أولاً: المراجع العربية

- 10. بحث مسجل على منصة المنهل: "أثر تطوير نظم الإنذار المبكر والتنبؤ بالآزمات الصناعية في منظمات الصناعات الكيماوية بمصر" (رسالة ماجستير). متاح على : <https://search.mandumah.com/Record/110145>
- 2. قواسمية، سليمة (2021). "دور أنظمة الإنذار المبكر في التنبؤ بالآزمات". *مجلة الدراسات الاقتصادية والمالية والإدارية (JEFIS)*، المجلد 3، العدد 2، ص 15-29. متاح على : <https://asjp.cerist.dz/en/article/168475>
- 3. موساوي، أمال؛ صالح، أسماء (2020). "مدى فعالية نظم الإنذار المبكر في إدارة الآزمات الاقتصادية". *مجلة آفاق للبحوث والدراسات*، المجلد 3، العدد 2، ص 30-47. متاح على : <https://asjp.cerist.dz/en/article/127283>
- 4. خلوفي، سفيان؛ شريط، كمال " (2021) نحو بناء وتفعيل نظام الإنذار المبكر بالمخاطر البائية لمواجهة الجيل الرابع المتوقع لفيروس كورونا في الجزائر - نموذج مقترح. *مجلة تنمية الموارد البشرية*، المجلد 16، العدد 3، ص 207-232. متاح على : <https://asjp.cerist.dz/en/article/167844>
- 5. منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول - أوابك (2024). "دور التحول الرقمي في تعزيز منظومة السلامة والصحة المهنية وحماية البيئة في صناعات النفط والغاز. *الدراسات المنظمة*. متاح على : <https://oapecorg.org>
- 6. مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار - مجلس الوزراء المصري (2024). "أنظمة الإنذار المبكر: درع مهم في مواجهة تأثيرات تغير المناخ. *سلسلة سياسات مناخية*، مايو 2024. متاح على : <https://idsc.gov.eg>
- 7. مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار - مجلس الوزراء المصري (2024). "مسارات التحرك نحو أنظمة إنذار مبكر أكثر فاعلية". أكتوبر 2024. متاح على : <https://www.idsc.gov.eg/Article/details/10483>
- 8. المنظمة العربية للتنمية الصناعية والتقييس والتعدين وآخرون (2023). "دور إدارة الآزمات في مواجهة الآزمات البئية - دراسة ميدانية. *المجلة العلمية لعلوم التربية البئية*، مايو 2023. متاح على : https://jcesc.journals.ekb.eg/article_299628
- 9. مكتب الأمم المتحدة للحد من مخاطر الكوارث. (2022) UNDRR - *التقرير الإقليمي لتقييم الحد من مخاطر الكوارث في المنطقة العربية 2021 (محدث 2022)*. جنيف. UNDRR. متاح على : https://www.undrr.org/sites/default/files/2022-08/RAR_on_disaster_risk_reduction_in_the_Arab_region_2021-Updated_2022-AR.pdf
- أحمد، السيد سيد أحمد. (2024). عجز أصحاب الأنشطة التجارية والصناعية عن سداد الديون بسبب الآزمات والكوارث: دراسة فقهية مقارنة. *مجلة البحوث الفقهية والقانونية*، ع45، 2567 - 2660. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1481721>

- أرزوقي، ابتهاج ماجد، و علي، رائد صالح. (2022). مشكلات التلوث البيئي في العراق: دراسة في المصادر الطبيعية والبشرية والصناعية. مجلة العلوم القانونية والسياسية، مج11، ع1، 395 - 422. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1306337>
- السعدي، وسام نعمت إبراهيم. (2024). فاعلية منظمة الأرصاد الجوية في تنفيذ برامج الإنذار المبكر لمواجهة الكوارث. مجلة القانون والأعمال، ع111، 61 - 87. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1525894>
- سليمان، سماء. (2024). دور الإنذار المبكر في منع الصراعات في الدول الإفريقية. مجلة الأمن القومي والإستراتيجية، مج2، ع4، 46 - 55. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1474704>

ثانيا: المراجع الأجنبية

- 13. Rokhideh, M.; Fearnley, C.; Budimir, M. (2025). "Multi-Hazard Early Warning Systems in the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction: Achievements, Gaps, and Future Directions". *International Journal of Disaster Risk Science*, Vol. 16, pp. 103–116. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13753-025-00622-9>
- 15. Chai, H.; Dong, K.; Liang, Y.; Han, Z.; He, R. (2025). "Machine Learning-Based Accidents Analysis and Risk Early Warning of Hazardous Materials Transportation". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 95, Article 105594. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2025.105594>
- 18. UNDRR (2023). *Global Status of Multi-Hazard Early Warning Systems 2023 – Target G*. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction. متاح على: <https://www.undrr.org/media/91954/download>
- 19. Romadiana, P.; Aribowo, W.; Sari, L. I. (2025). "Early Warning Systems and Digital Infrastructure Readiness". *Oikonomia*, Vol. 3, No. 1. DOI: <https://doi.org/10.61942/oikonomia.v3i1.514>
- Executive summary (pp. 11–13). (2023). United Nations. <https://doi.org/10.18356/9789210028998c002>
- Fajrillah, A. A. N., Hartanto, R., & Nugroho, L. E. (2024). Factors Affecting Long-Term Effectiveness of Community-Based Early Warning Systems (EWSs) in Rural Areas: A Systematic Review. 231–236. <https://doi.org/10.1109/incit63192.2024.10810638>
- Foreword (p. iii). (2024). United Nations. <https://doi.org/10.18356/9789210025133c001>
- Kamdina, L., Simchenko, O. L., Grakhov, V., Suntsov, A. S., & Chazov, E. (2021). The impact of man-made accidents and catastrophes in the stable functioning of industrial enterprises on the quality of life of the population and socio-economic development. 296, 06004. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/202129606004>
- Lahmood, F. A., & Mutlak, D. J. (2024). Early Warning System Means and Tools in the African Union and the Organization of American States: An Analytical Study. *Journal of Ecohumanism*, 3(4), 1964–1971. <https://doi.org/10.62754/joe.v3i4.3730>
- Meckawy, R., Stuckler, D., Mehta, A., Al-Ahdal, T. M. A., & Doebbeling, B. N. (2022). Effectiveness of early warning systems in the detection of infectious diseases outbreaks: a systematic review. *BMC Public Health*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-022-14625-4>
- Sugawara, Y. (2019). Effectiveness of Early Warning by International Organizations: Empirical Analysis on the United Nations Mission in South Sudan. <https://doi.org/10.33422/ICFSS.2019.04.210>